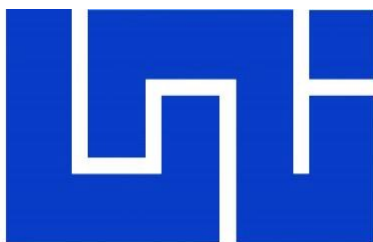


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA FUENTES DE AGUA EN TRES COMUNIDADES DE LA MICRO REGIÓN I, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

TRABAJO DE DIPLOMADO PRESENTADO POR:

Eder Molina Matute

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR:

Dra. Indiana García

Managua, Nicaragua 2015

DEDICATORIA

A mi querida y amada M.H.F.M. gracias por todo tu apoyo, motivación, palabras de aliento y amor brindado en este último año y gracias por creer en mis capacidades siempre, a pesar de la distancia eres la persona que está más cerca de mí.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado y guardado a lo largo de mi carrera en estos años, por brindarme fuerzas y la habilidad para poder concluir esta etapa llena de aprendizajes con mucho éxito.

Le doy gracias a mi padre Eddy, por sus consejos día a día para ser un profesional de éxito, y por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación a base de su esfuerzo. De igual forma estoy agradecido con mi madre Ana y mi hermana Ivania por tenerme en sus oraciones a diario y por inculcarme valores como hombre y persona.

A mis amigos Marina, Liviette, Webster, Levi y Ana que han estado todos estos años trayéndome risas y apoyo, gracias por su paciencia y amistad incondicional.

Le agradezco a mis profesores por el esfuerzo y buena voluntad que tuvieron para transmitirme parte de todo ese gran conocimiento que tienen, en especial al profesor Rodolfo por enseñarme el valor del conocimiento más allá de una nota; a la profesora Indiana por compartir sus alegrías y experiencias, además de ser mi tutora; a la profesora Maritza por siempre tener la voluntad de ayudarme cada una de las mil veces que llegue a secretaria, también a mis profesores Luis Porras, Auner, Félix y Leonardo Chavarría por siempre tomarme en cuenta para las actividades académicas.

Reconozco y agradezco también a las bibliotecarias de biblioteca central y CEDOC por su amabilidad, disponibilidad y sugerencias cada una de las veces que llegue a prestar y/o consultar información.

Finalmente agradezco a todas las personas que han estado conmigo estos cinco años, gracias por todas las risas; alegrías compartidas en el salón y fuera del salón de clases; por compartir comida; música e información. Juntos vivimos momentos duros y fáciles en todas las materias pero al final del semestre salíamos airoso, valió la pena tantas noches de desvelo, estrés y desmoralización, gracias Fabio, Oscar, Carlos, Julio, Gunter, Jeynner, Luis, Norman y Zugania.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de tres comunidades (La Playa, Aguas Caliente y Tablones) pertenecientes a la Micro Región I del municipio de San Lucas en el departamento de Madriz al norte de Nicaragua.

Todo esto con el objetivo de determinar la calidad del agua y con base en su calidad, el posible uso que se le pueda dar a la misma para el aprovechamiento en las tres comunidades rurales de San Lucas; comunidades que enfrentan problemas de abastecimiento de agua potable, donde solamente el 17,5 % de la población tiene acceso al agua potable.

Los resultados de dichos análisis indicaron que el agua de la zona en estudio en términos generales es aceptable para los diferentes usos que se le puedan destinar al agua como: abastecimiento público, recreación, pesca, vida acuática, uso industrial y agrícola.

Para el caso de abastecimiento público el agua requiere de un tratamiento de filtración múltiples etapas, debido a que es el más utilizado en las comunidades rurales a causa de su alta eficiencia y bajo costo de construcción, operación y mantenimiento. Dicho esquema estará compuesto por filtros dinámicos; filtros lentos como tratamiento principal y aireadores de bandeja sólo para el caso de los Tablones.

Finalmente se determinó que las tres comunidades son medianamente vulnerables en términos globales y dicha vulnerabilidad se puede disminuir con la elaboración de propuestas de trabajo y planes de acción que involucren a las comunidades.

Palabras clave: *Análisis de Vulnerabilidad, Contaminantes del Agua, Calidad del Agua, Filtración en Múltiple Etapa, Municipio de San Lucas.*

ABSTRACT

In this work, the physical, chemical and microbiological parameters of three communities (La Playa, Aguas Calientes and Tablones), belonging to the Micro Región I of the municipality of San Lucas in Madriz northern Nicaragua were evaluated.

All this with the aim of determining the quality of water and its quality based on the potential use that can be given to it, to take advantage of this in the three rural communities of San Luca; communities facing potable water, only 17,5 % of the population have access to potable water.

The results of these analyzes indicated that the water in the study area is broadly acceptable to the different uses to which it can allocate to water as: public supply, recreation, fishing, aquatic life, industrial and agricultural use.

In the case of public supply water treatment requires multiple stage filtration, because it is the most widely used in rural communities, because of its high efficiency and low cost of construction, operation and maintenance. This scheme will be composed of dynamic filters; slow sand filter as main treatment and multiple tray aerators just for Los Tablones.

Finally it was determined that the three communities are moderately vulnerable in global terms and that vulnerability can be reduced with the development of proposals for work and action plans involving communities.

Key words: *Multi Stage Filtration, San Lucas Town, Vulnerability Analysis, Water Pollutants, Water Quality.*

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
2. MARCO TÉORICO	4
2.1 Agua	4
2.2 Tipos de Fuentes	5
2.2.1 Agua de Lluvia	5
2.2.2 Agua Superficial	6
2.2.3 Agua Subterránea	6
2.3 Selección de la Fuente	6
2.3.1 Fuentes de Abastecimientos Nacionales	7
2.3.2 Fuentes de Abastecimientos Rurales	7
2.4 Calidad del Agua	9
2.5 Contaminación de Fuentes de Agua	11
2.5.1 Tipos, Efectos y Método de Medición de Contaminantes	11
2.5.2 Características Físicas	12
2.5.3 Características Químicas	14
2.5.4 Contaminantes Prioritarios	18
2.5.5 Características Microbiológicas	21
2.6 Marco Legal Aplicado	22
2.6.1 Marco Jurídico	22
2.6.2 Marco Ambiental	24
2.7 Tipos de Tratamiento	26
2.7.1 Tratamiento Físico	27
2.7.2 Tratamiento Químico	33
2.8 Tratamiento de Lodos	37
2.9 Cuidado de la Cuenca	38
3. DESCRIPCIÓN DE LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO	40
3.1 Clima	40
3.2 Suelos	40
3.2.1 Usos del Suelo	41
3.3 Aspectos Socioeconómicos	41
3.4 Distribución Poblacional	41
3.5 Abastecimiento de Agua para Poblaciones, Servicios Higiénicos	41
3.6 Demanda de Agua para Riego e Industria	42
3.7 Calidad del Agua	43
3.7.1 Fuentes de Contaminación	43
4. METODOLOGÍA	44
4.1 Tipo de Investigación	44

4.2	Universo	44
4.3	Selección de los Sitios de Estudio	45
4.4	Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica	47
4.5	Clasificación de los Recursos Hídricos	48
4.6	Índice de Calidad de Agua	50
4.7	Potabilidad de las Fuentes de Agua	52
4.8	Diseño de Unidades de Tratamiento	52
4.8.1	Selección de las Unidades de Tratamiento	52
4.8.2	Dimensionamiento de los Equipos	53
4.9	Análisis de Vulnerabilidad	57
5.	RESULTADOS	59
5.1	Caracterización de la Calidad Física, Química y Bacteriológica	59
5.1.1	Características Físicas	59
5.1.2	Características Químicas	67
5.1.3	Características de los Metales y Metaloides	76
5.1.4	Características de los Nutrientes	83
5.1.5	Características Microbiológicas	87
5.2	Clasificación de las Fuentes	89
5.3	Diseño Tecnológico	94
5.3.1	Determinación de la Población y el Caudal de Diseño	94
5.3.2	Dimensionamiento de los Equipos	96
5.3.2	Dimensionamiento de las Unidades	100
5.4	Análisis Observacional de Vulnerabilidad	105
6.	CONCLUSIONES	108
7.	RECOMENDACIONES	110
8.	REFERENCIAS	111
	Anexo A	115
	Anexo B	120
	Anexo C	122
	Anexo D	123
	Anexo E	140
	Anexo F	163
	Anexo G	167
	Anexo H	170
	Anexo I	176

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Calidad de las Fuentes de Agua Cruda	10
Tabla 2.2	Parámetros de Diseño para Rejillas de Barra	28
Tabla 2.3	Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FIME	32
Tabla 2.4	Remoción de Anhídrido Carbónico	32
Tabla 2.5	Remoción de Hierro y Manganeseo	33
Tabla 2.6	Criterios de Diseño de Aireadores por Bandeja	33
Tabla 2.7	Coagulantes Inorgánicos Frecuentemente Usados	34
Tabla 2.8	Coagulantes Orgánicos Frecuentemente Usados	35
Tabla 3.1	Suministro de Agua	42
Tabla 3.2	Indicadores de Influencia Negativa	42
Tabla 4.1	Puntos de Muestro	46
Tabla 4.2	Metodología de Análisis	48
Tabla 4.3	Clasificación de los Recursos Hídricos	49
Tabla 4.4	Escala de Clasificación del Índice de Calidad de Agua en Función del Uso	51
Tabla 4.5	Fórmulas para el Cálculo de la Función Subíndices y Pesos Relativos	51
Tabla 4.6	Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FiME	52
Tabla 5.1	Valores de Parámetros Físicos en Micro Región I	59
Tabla 5.2	Valores de Parámetros Químicos en Micro Región I	67
Tabla 5.3	Concentraciones de Metales y Metaloides en Micro Región I	77
Tabla 5.4	Concentraciones de Nutrientes en Micro Región I	83
Tabla 5.5	Concentraciones de Microbiológica en Micro Región I	88
Tabla 5.6	Cantidad de Parámetros que Exceden la Norma CAPRE por Comunidad	92
Tabla 5.7	Fórmulas para el Cálculo de la Función Subíndice por Comunidad	93
Tabla 5.8	Escala de Clasificación del ICA en Función del Uso por Comunidad	93
Tabla 5.9	Dotación de Agua Potable para Consumo Doméstico	95
Tabla 5.10	Dotación Para Usos No Domésticos	95
Tabla 5.11	Proyección Poblacional y Caudal de Diseño	96
Tabla 5.12	Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento en Aguas Caliente	96
Tabla 5.13	Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento en Los Tablones	97
Tabla 5.14	Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento en La Playa	98
Tabla 5.15	Variables de Diseño de un Filtro Dinámico en Aguas Caliente (FGDi)	101
Tabla 5.16	Variables de Diseño de un Filtro Lento de Arena en Aguas Caliente (FLA)	102
Tabla 5.17	Variables de Diseño de Tanque en Aguas Caliente (Tk)	102
Tabla 5.18	Variables de Diseño de un Filtro Dinámico, Los Tablones (FGDi)	103
Tabla 5.19	Variables de Diseño de un Aireador en Bandejas, Los Tablones (FGDi)	103
Tabla 5.20	Variables de Diseño de un Filtro Lento de Arena en Los Tablones (FLA)	104
Tabla 5.21	Variables de Diseño de Tanque en Los Tablones (Tk)	104
Tabla 5.22	Variables de Diseño de un Filtro Dinámico, La Playa (FGDi)	105

Tabla 5.23	Variables de Diseño de un Filtro Lento de Arena, La Playa (FLA)	105
Tabla 5.24	Variables de Diseño de Tanque, La Playa (Tk)	106
Tabla 5.25	Análisis Observacional de Vulnerabilidad de las Comunidades	107
Tabla 5.26	Análisis Observacional de Vulnerabilidad de las Comunidades	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Clasificación de los Contaminantes con base en su Naturaleza Química	11
Figura 2.2	Clasificación de los Contaminantes con base en los Procesos de Tratamiento	12
Figura 2.3	Rejillas de Barra en Tanque de Restos	27
Figura 2.4	Procesos que Integran la FIME	28
Figura 2.5	Esquema Isométrico de un Filtro Grueso Dinámico	29
Figura 2.6	Esquema Isométrico de un Filtro Grueso Ascendente en Capas	30
Figura 2.7	Esquema Isométrico de un Filtro Grueso Ascendente en Serie	30
Figura 2.8	Componentes Básicos de un FLA con control a la Entrada	31
Figura 2.9	Diagrama de Diseño y Operación para Coagulación con Sulfato de Aluminio	35
Figura 2.10	Influencia del pH y la Temperatura en la Fracción de Cloro Acuoso (HOCl)	37
Figura 4.1	Universo de Estudio, Micro Región I del Municipio de San Lucas	45
Figura 4.2	Puntos de Muestreo, Micro Región I del Municipio de San Lucas	46
Figura 4.3	Mapa Hídrico, Micro Región I del Municipio de San Lucas	47
Figura 4.4	Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua	53
Figura 4.5	Dimensionamiento de Aireador por Bandejas	54
Figura 4.6	Dimensionamiento de Filtro Dinámico	55
Figura 4.7	Dimensionamiento de Filtro Grueso Ascendente en Capas y en Serie	56
Figura 4.8	Dimensionamiento de Filtro Lento	57
Figura 5.1	Valores de Temperatura	60
Figura 5.2	Concentraciones de Oxígeno Disuelto	62
Figura 5.3	Valores de Conductividad Eléctrica	63
Figura 5.4	Concentraciones de Sólidos Totales Disueltos	64
Figura 5.5	Valores de Color Verdadero	65
Figura 5.6	Valores de Turbiedad	67
Figura 5.7	Valores de pH	68
Figura 5.8	Valores de Dureza Total	70
Figura 5.9	Valores de Alcalinidad	71
Figura 5.10	Concentraciones de Iones Calcio	72
Figura 5.11	Concentraciones de Iones Magnesio	73
Figura 5.12	Concentraciones de Iones Sulfatos	74
Figura 5.13	Concentraciones de Iones Cloruros	75
Figura 5.14	Concentraciones de Iones Fluoruros	76
Figura 5.15	Concentraciones de Aluminio	78
Figura 5.16	Concentraciones de Hierro	79
Figura 5.17	Concentraciones de Manganeseo	80
Figura 5.18	Concentraciones de Plomo	81
Figura 5.19	Concentraciones de Arsénico	82
Figura 5.20	Concentraciones de Nitritos	84

Figura 5.21	Concentraciones de Nitratos	85
Figura 5.22	Concentraciones de Amonio	86
Figura 5.23	Concentraciones de Fósforo	87
Figura 5.24	Número de Coliformes Fecales	89
Figura 5.25	Valores de Índice de Calidad de Agua	91
Figura 5.26	Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento en Aguas Caliente	97
Figura 5.27	Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento en Los Tablones	98
Figura 5.28	Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento en La Playa	99
Figura 5.29	Isométrico del Filtro Dinámico	99
Figura 5.30	Isométrico de Aireador de Bandejas	100
Figura 5.31	Isométrico del Filtro Lento de Arena (FLA)	100

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS UTILIZADOS

ANSI: American National Standards Institute
APHA: American Public Health Association
ASCE: American Society of Civil Engineers
AWWA: American Water Works Association
CAPRE: Comité de Agua Para la Región
CAPS: Comité de Agua Potable y Saneamiento
CEE: Comunidad Económica Europea
CEPES: Centro Peruano de Estudios Sociales
CIEMA: Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente
CM: Captación por Manantial
CNRH: Consejo Nacional de los Recursos Hídricos
Co: Cobalto
COT: Carbón Orgánico Total
COV: Compuestos Orgánicos Volátiles
Cu: Cobre
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO: Demanda Química de Oxígeno
E. Coli: *Escherichia Coli*
ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados
EPA: Environment Protection Agency (Estados Unidos)
FAO: Food and Agriculture Organization
FISE: Fondo de Inversión Social de Emergencia
FIQ: Facultad de Ingeniería Química
FTU: Formazin Turbidity Units
INAA: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado
JTU: Jackson Turbidity Units
MABE: Mini Acueductos por Bombeo Eléctrico
MAG: Mini Acueductos por Gravedad
MAGAS: Marco de Gestión Ambiental Social
MARENA: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
MCT: Ministerio de Construcción y Transporte (Antiguo)
MEPAS: Manual de Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento
MINSA: Ministerio de Salud de Nicaragua.
MPPAS: Metodología de Pre inversión para Proyectos de Agua y Saneamiento
NTON: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense
NTU: Nephelometric Turbidity Units
OASH: Oficina de Agua, Saneamiento e Higiene
OMS: Organización Mundial de la Salud

ONG: Organización No Gubernamental

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PACCAS: Proyecto de Adaptación al Cambio Climático del Sector de Agua y Saneamiento

PAHO: Pan American Health Organization

PAHs: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos).

Pb: Plomo

PBDE: Polybrominated Diphenyl Ethers

PCB: Polychlorinated Biphenyls

PGC: Proyecto Guiado por la Comunidad

pH: Potencial de Hidrógeno

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Pptado: Precipitado

ppm: Partes por Millón

Pt: Platino

Pte: Parte

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable

PFU: Plaque-Forming Unit

PWTP: Potabilization Water Treatment Plant

RASNIC: Red de Agua y Saneamiento Nicaragua

SiO₂: Silica Units

Sn: Estaño

SNIP: Sistema Nacional de Inversión Pública

STD: Sólidos Totales Disueltos

TiO₂: Dióxido de Titanio

TON: Threshold Odor Number (Número para el Umbral de Olor)

TTN: Treshold Taste Number

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UNI: Universidad Nacional de Ingeniería

USGS: United States Geological Survey

WEF: Water Environment Federation

WHO: World Health Organization

Zn: Zinc

1. INTRODUCCIÓN

Las necesidades básicas de todo ser humano deben de ser satisfechas para poder sobrevivir, es claro que las épocas de antaño en donde el hombre buscaba su alimento cazando en la selva y alimentándose de la naturaleza directamente no existen más. Hoy en día la humanidad ha avanzado y existen ciertas necesidades básicas que ayudan a mantener la homeostasis del individuo, dentro de las cuales se encuentra: respirar, hidratarse, alimentarse, descansar, eliminar desechos, mantener temperatura corporal, entre otros.

El agua se relaciona con la mayoría de las necesidades básicas; es por eso que se considera un elemento vital para la supervivencia de los individuos y el desarrollo de los mismos, más aun en las comunidades de países como Nicaragua que basan su economía en la agricultura y ganadería. No contar con agua para esas comunidades incurre en problemáticas como: altos niveles de mortalidad, constante recurrencia hospitalaria y déficit de mano de obra, lo cual frena el desarrollo económico de los pequeños núcleos.

El suministro de agua a las comunidades debe de ser el adecuado en términos de calidad, cantidad, costos, continuidad y accesibilidad. Pero no basta sólo con disponer de grandes extensiones de agua; como es el caso de Nicaragua que cuenta con agua subterránea y superficial, ya que lamentablemente muchas de las actividades humanas han contaminado y secado gran parte de dichas fuentes; actividades como: el uso de agroquímicos; la deposición de desechos industriales y residuales; el avance de la frontera agrícola; la minería y más recientemente el cambio climático, son unas de tantas actividades que influyen negativamente en los cuerpos de agua.

Uno de los departamentos con más problemas de abastecimiento es Madriz; donde las comunidades rurales se abastecen en su gran mayoría de pozos comunales excavados a mano, pozos perforados a máquina y mini-acueductos. Algunas comunidades hacen uso de agua proveniente de fuentes naturales y quebradas. De acuerdo al INIDE (2008), 61,3% de las viviendas no tienen acceso a los servicios de agua potable. La mayor brecha de cobertura está en las zonas rurales, donde sólo el 12,9% de las viviendas tiene acceso al servicio.

Los recursos hídricos de la zona media y baja del municipio de San Lucas se encuentran bajo presión debido al crecimiento poblacional de algunas zonas, la actividad agrícola, mal uso del suelo, competencia por agua dulce; mal manejo de los

recursos hídricos por parte de los habitantes de las comunidades; falta de conciencia por la conservación de los recursos y baja escolaridad de los pobladores. Todo esto es una combinación de problemas socioeconómicos y socioculturales que sumados impactan negativamente sobre la calidad de las fuentes de aguas.

Palacios (2013) realizó la Evaluación de la Calidad del Agua en la Zona Alta-Honduras de la Sub-Cuenca del Río Tapacalí y sus afluentes, donde muestreó seis puntos de la comunidad de San Marcos de Colon, Honduras y concluyó que era necesario someter el agua a un sistema de tratamiento debido a que algunos parámetros físicos y químicos no cumplían con los valores recomendados por las normas CAPRE.

En 2013, Álvarez & López determinaron la Disponibilidad de Recursos Hídricos en la parte media de la Sub-Cuenca del Río Tapacalí obteniendo como resultado que no existe un equilibrio entre las entradas y salidas de agua, sin embargo existe una disponibilidad ya que la cantidad de recarga puede sufragar las extracciones.

Por lo tanto la presente investigación tiene la finalidad de diagnosticar la calidad del agua y proponer un sistema de tratamiento para seis fuentes localizadas en tres comunidades de la Micro Región I (La Playa, El Tablón y Aguas Caliente) del municipio de San Lucas, Madriz. Así mismo hacer conciencia de la importancia del agua para el país en vista de las afectaciones provocadas por el cambio climático.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo General

Diagnosticar la calidad del agua y proponer sistemas de tratamiento para seis fuentes de tres comunidades de la Micro Región I, Municipio de San Lucas, Madriz.

Objetivos Específicos

- Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de seis fuentes hídricas en tres comunidades de la Micro Región I, Municipio de San Lucas, para su diagnóstico.
- Clasificar las seis fuentes hídricas en estudio haciendo uso de la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 05 007-98).
- Estimar los índices de calidad de agua (ICA) para cada una de las fuentes de agua de las comunidades de la Micro Región I en estudio.
- Determinar la potabilidad del agua de las fuentes usando la Normativa CAPRE para consumo humano.
- Dimensionar los elementos principales del sistema de potabilización de agua necesarios para convertir el agua cruda en potable.
- Realizar análisis observacional para determinar el grado de vulnerabilidad de las fuentes hídricas a evaluarse.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los conceptos más relevantes a ser considerados para el diagnóstico y tratamiento de las seis fuentes de la Micro Región I, Municipio de San Lucas; primeramente se presenta una definición del agua y tipos de fuentes, así como los parámetros que definen su calidad en términos físicos, químicos y microbiológicos. Se muestra también el marco legal jurídico y ambiental Nicaragüense. Para finalizar se plantean algunos tipos de tratamiento para la remoción de los materiales indeseados y el tratamiento de los lodos generados por dichos tratamientos.

2.1 AGUA

Desde el punto de vista químico el agua es una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O), unidos por un enlace covalente. Esta molécula puede formar enlaces con hasta cuatro moléculas similares a ella, formando lo que se conoce como puentes o enlaces de hidrógeno.

El agua es el líquido más abundante de la corteza terrestre, sencillamente el agua está en todas partes pudiendo encontrarla en sus otros estados de agregación (sólido y gaseoso). USGS (2014) afirma que: “El agua de la tierra está (casi) en todas partes: arriba de la tierra en el aire y las nubes, en la superficie terrestre como ríos, océanos, hielo y plantas, y dentro de la tierra a unas pocas millas del suelo”.

El agua está distribuida de la siguiente manera: 96,5% océanos, 2,5% agua dulce y 0,9% agua salobre. Así mismo el agua dulce esta subdividida en: 68,7% glaciares y capas de hielo, 30,1% agua subterránea y 1,2% agua superficial. Dicha agua superficial está compuesta por 69,0% hielo del suelo, 20,9% lagos, 3,8% humedad, 3,0% atmósfera, 2,6% pantanos, 0,5% ríos y finalmente 0,3% los seres vivos (USGS, 2014).

El agua dulce es la que más se utiliza en las actividades humanas y ha contribuido al desarrollo de la humanidad en gran medida, pero dicho desarrollo humano ha impactado de manera muy negativa en las fuentes de agua, tanto así que hoy en día se habla de escasez de agua para los países en vías de desarrollo para antes del 2030.

Esto es el resultado de las actividades humanas como la agricultura, ganadería y poblaciones humanas que realizan sus descargas sobre fuentes de agua dulces o al mar. Existen también problemas como el despale indiscriminado que afectan directamente a las fuentes de agua.

Sin duda nadie quiere frenar el avance económico de una nación, pero sí se puede concientizar a las personas para que hagan un manejo adecuado de las fuentes de agua que aprovechan, evitando así el mal manejo de éstas como sucede en la agricultura.

De acuerdo a la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) la agricultura es la mayor destinataria de recursos hídricos y a ella van alrededor del 70% de todas las extracciones de agua (a la industria el 20% y al empleo doméstico el 10%). Si la necesidad diaria de agua potable es muy pequeña, cuatro litros por persona; las necesidades diarias de agua para la alimentación y aseo personal son mucho más elevadas y van de los 2 000 a los 5 000 L/d.

Este tipo de problemática se podría disminuir invirtiendo en mejores sistemas de riego, que permitan el mayor aprovechamiento de los volúmenes de agua para producir alimentos. CCO (Citado por Castillo et al., 2004) menciona que: “El grado general de eficiencia de los sistemas de irrigación en el país se estima menor al 20%”.

2.2 TIPOS DE FUENTES

Una fuente de abastecimiento de agua potable se puede definir como: aquellas aguas que pueden ser usadas para el consumo humano, propósitos domésticos y de higiene, pero que previamente hayan sido tratadas mediante algún proceso de potabilización. Dentro de las fuentes se puede encontrar tres tipos: agua de lluvia, agua superficial y agua subterránea.

2.2.1 Agua de Lluvia

Es un fenómeno atmosférico de tipo acuático que se inicia con la condensación del vapor contenido en las nubes que luego precipita. Se puede clasificar como agua que precipita en forma líquida y vertical. Este fenómeno en si depende de tres factores la presión atmosférica, la temperatura y principalmente la humedad atmosférica.

Este tipo de fuente sólo puede ser aprovechado en la región Atlántica del país, debido a que consta de un invierno de ocho meses. En el caso de la región de Madriz no es aplicable por las condiciones climatológicas del sitio. El Centro de Estudios Peruanos (CEPES, 2010) afirma que: “Para la recolección del agua se utilizan los techos de las casas o algunas superficies impermeables para captar el agua y conducirla a sistemas cuya capacidad depende del caudal requerido y del régimen pluviométrico”.

2.2.2 Agua Superficial

Son todas aquellas aguas que circulan sobre la superficie del suelo, que se produjeron por las escorrentías causadas por las precipitaciones o por el afloramiento de las fuentes de agua subterráneas. Este tipo de fuente también se puede presentar en forma dinámica ejemplo de ello son los ríos y arroyos, o estática como lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios, océanos y mares.

Su desventaja radica en que al encontrarse abiertas a la atmósfera también están expuestas directamente a la contaminación. “Estas fuentes no son tan deseables, especialmente si existen zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba. Sin embargo a veces no existe otra fuente alternativa en la comunidad” (CEPES, 2010). En contraposición con las aguas subterráneas, como prerrequisito las aguas superficiales siempre deben de ser tratadas.

2.2.3 Agua Subterránea

Este tipo de agua se aloja bajo la superficie de la tierra, es un recurso importante para el abastecimiento de agua rural, pero al mismo tiempo es de difícil gestión por su sensibilidad a la contaminación (mineralización) y la sobreexplotación.

CEPES (2010) afirma que: “Parte de la precipitación en la cuenca se infiltran en el suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas. La explotación de estas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero”.

2.3 SELECCIÓN DE LA FUENTE

La fuente de abastecimiento es el principal elemento en el diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), se hacen muchas consideraciones para poder seleccionar la fuente adecuada, en términos sencillos la fuente a ser seleccionada es aquella que cumpla con la mayoría de los parámetros establecidos por las normas de calidad del agua, es decir que necesite la menor cantidad de tratamiento posible y mantenga condiciones de calidad; que se encuentre cerca de la comunidad; que pueda suministrar la cantidad de agua suficiente y encontrarse lo suficientemente protegida.

Schulz & Okun (1992) expresan que: “El agua debe estar libre de patógenos, clara, sin salinidad, libre de compuestos que causen un olor o sabor ofensivo, no corrosiva y

bajas concentraciones de compuestos tóxicos o que causen efectos serios por exposición prolongada”.

Al mismo tiempo Schulz & Okun (1992) recomiendan que: “El agua subterránea es la opción preferida para el suministro de agua en las comunidades, porque generalmente no requiere tratamiento extenso y la operación se limita al bombeo y posible cloración”.

2.3.1 Fuentes de Abastecimiento Nacionales

La Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) y el Concilio Mundial del Agua (WWC) (Citado por Castillo et al., 2004) manifiestan que: “La extracción total de agua en Nicaragua es de 1 794,9 MMC de los cuales el 83% es usado por el sector agropecuario, 3% por el doméstico y 14% por el industrial”.

La principal fuente de abastecimiento de agua potable para uso doméstico, es la subterránea la cual aporta hasta 70% de la cantidad de agua demandada (Castillo et al., 2004).

Asimismo Nicaragua está dividida en 21 cuencas, este estudio está enfocado en la calidad del agua de los recursos hídricos de San Lucas, que se abastece de subcuencas del río Tapacalí, el cual es uno de los afluentes principales de la cuenca del Río Coco (No. 45).

La cuenca del Río Coco cuenta con un área de 19 969 Km², escurrimiento de 476,4 Mm³/año, promedio de recarga subterránea de 112,4 Mm³/año y drena por el atlántico.

2.3.2 Fuentes de Abastecimiento Rurales

Por lo disperso de las viviendas en las comunidades rurales y poblaciones menores a los 2 000 habitantes, los sistemas de abastecimiento de agua se traducen a mini-acueductos con longitudes y diámetros pequeños de redes y para soluciones familiares y/o multifamiliares. Normalmente demandan el transporte, almacenamiento y desinfección del agua en el nivel intra domiciliario (SNIP, 2012).

a) Manantiales

Los manantiales son puntos localizados en la corteza terrestre por donde aflora el agua subterránea. Generalmente este tipo de fuentes, sufre variaciones en su producción, asociadas con el régimen de lluvia en la zona. En la mayoría de los casos, es de

esperar que el caudal mínimo del manantial coincida con el final del periodo seco en la zona (INAA, s.f.).

Los criterios para la selección de un manantial como fuente de suministro de agua potable son los siguientes:

- El dato o datos de aforo, deberán corresponder al valor final del periodo seco de la zona y se tomará como base para el diseño, el mínimo valor obtenido (SNIP, 2012).
- El caudal crítico de producción de la fuente deberá ser mayor o igual al consumo máximo diario de la población al final del periodo de diseño, de lo contrario se desechará su utilización (SNIP, 2012).

b) Mini Acueductos por Bombeo Eléctrico (MABE)

SNIP (2012) declara: “Esta opción será considerada sólo en los casos en que exista: disponibilidad de fuente de abastecimiento; disponibilidad de energía eléctrica y capacidad de pago de la comunidad”. Los criterios de aceptación de los pozos son:

- El caudal de explotación será obtenido a través de una prueba de bombeo de un mínimo de 24 horas a caudal constante y de una prueba de caudal variable con mínimo de cuatro etapas de una hora cada una (SNIP, 2012).
- El caudal máximo recomendado de la explotación de un pozo deberá ser igual o superior a 1,5 del consumo máximo día (CMD) (SNIP, 2012).

c) Pozos con Bombas Manuales

Los pozos son agujeros o excavaciones verticales que perforan la tierra hasta una profundidad suficiente que permita alcanzar el recurso, para posteriormente ser extraído por medio de sistemitas manuales, mecánicas o eléctricas.

d) Pozo Excavado a Mano (PEM)

Apropiada para el suministro de agua en el sector rural disperso, deberá cumplir con los siguientes criterios:

- Todo PEM deberá ser sometido a una prueba de rendimiento, a la capacidad de extracción de la bomba de mano (SNIP, 2012).

- Serán considerados solamente aquellos PEM, cuyo nivel estático se encuentre como mínimo 2 m por encima del fondo del pozo; esta medida deberá realizarse al final del periodo seco (SNIP, 2012).

e) Pozo Perforado (PP)

SNIP (2012) proclama: “Esta elección se considera únicamente si las opciones pozo excavado a mano (PEM), mini acueductos por gravedad (MAG) y Manantiales no se pueden aplicar. Corresponde a la utilización de un pozo perforado empleando una bomba manual”.

f) Filtros de Mesa

Opción que trata pequeñas cantidades de agua superficial proveniente de ríos, zanjas, entre otros., con turbiedades menores a 100 NTU y de baja carga bacteriológica. Sin embargo, es recomendable que antes del consumo, el agua sea sometida al proceso de desinfección. Normalmente, los filtros de mesa están compuestos por un recipiente que contiene el medio o los dispositivos filtrantes y un tanque de almacenamiento del agua filtrada (SNIP, 2012).

2.4 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino más bien un atributo definido socialmente con base en la función que se le piense dar al líquido. Por ejemplo, erróneamente se ha definido la calidad del agua con base en las concentraciones de los constituyentes presentes en el agua, aseverando que entre menor sea la concentración de los constituyentes mejor es la calidad del agua. En dicho caso; el agua destilada no presenta impurezas, sin embargo no es apta para el consumo humano. Por tal razón la calidad está relacionada con el uso para el cual está destinada la fuente de agua, de ahí la importancia de la clasificación de los recursos hídricos (Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-007-98).

La NTON 05-007-98 establece que: “Con el objetivo de determinar la capacidad y condiciones de aprovechamiento de los recursos hídricos y los niveles y calidad de vertimientos tolerables para cada cuerpo de agua, se establecen seis tipos de cuerpos de agua”.

La clasificación va directamente relacionada con el tratamiento que se le dará al agua. El propósito principal del tratamiento de agua es proteger la salud de las personas;

debido a que el agua además de ser una fuente de vida para los seres vivos, puede contener una amplia gama de constituyentes que pueden provocar enfermedades y una habilidad única de transmitir rápidamente enfermedades a un gran número de personas (Howe, Hand, Crittenden, Rhodes Trussel, & Tchobanoglous, 2012).

Con el objetivo de proteger la salud pública se han elaborado normas, criterios y parámetros; por países, regiones, organismos no gubernamentales (ONG), entre otros. Estos son el punto de partida y referencia científica que permite determinar la calidad del agua con base en su uso. Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Las normas del Comité de Agua para América Central y República Dominicana (CAPRE) son las que rigen la calidad del agua para consumo humano en Nicaragua.

Los parámetros que definen la calidad del agua son: físicos, químicos, bacteriológicos y organolépticos. The American Society of Civil Engineers (ASCE, 1969) (Citado por Schulz & Okun, 1992) “Caracterizó las fuentes de suministro de agua con base en su calidad, usando parámetros como Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), coliformes, pH, cloruros y fluoruros”. Tal y como se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Calidad de las Fuentes de Agua Cruda.

	Fuente Excelente	Fuente Buena	Fuente Pobre	Fuente Desechada
DBO promedio (5 días) (mg/L)	0,75 a 1,5	1,5 a 2,5	2,5 a 4,0	> 4,0
Promedio de coliformes, número más probable (NMP) por 100 mL	50 a 100	100 a 5 000	5 000 a 20 000	> 20 000
pH	6,0 a 8,5	5,0 a 6,0 ó 8,5 a 9	3,8 a 5,0 ó 9,0 a 10,3	<3,8 ó >10,3
Cloruros (mg/L)	< 50	50 a 250	250 a 600	> 600
Fluoruros (mg/L)	< 1,5	1,5 a 3,0	> 3	-

Fuente: ASCE 1969 citado por (Schulz & Okun, 1992).

2.5 CONTAMINACION DE FUENTES DE AGUA

El término se refiere a la entrada de contaminantes dentro del ambiente natural, dicho contaminantes causan: desorden, inestabilidad, daño y molestias al ecosistema. Los factores causantes de la contaminación son los contaminantes, estos pueden ser sustancias artificiales de origen antropogénicas que son productos de desechos líquidos y se vierten a las aguas, o naturales a causa del ciclo natural del agua la cual entra en contacto con los contaminantes que se encuentran en la corteza terrestre y atmósfera.

2.5.1 Tipos, Efectos y Método de Medición de Contaminantes

Una vez seleccionada la fuente y caracterizada hídricamente surge la necesidad de seleccionar los tratamientos que necesita para poder ser utilizada, en vista de eso se debe de clasificar los contaminantes con base en sus características. Existen varios tipos de caracterización en dependencia de los autores, por ejemplo Gupta (2013) los ha categorizado en base su naturaleza y origen (Figura 2.1)

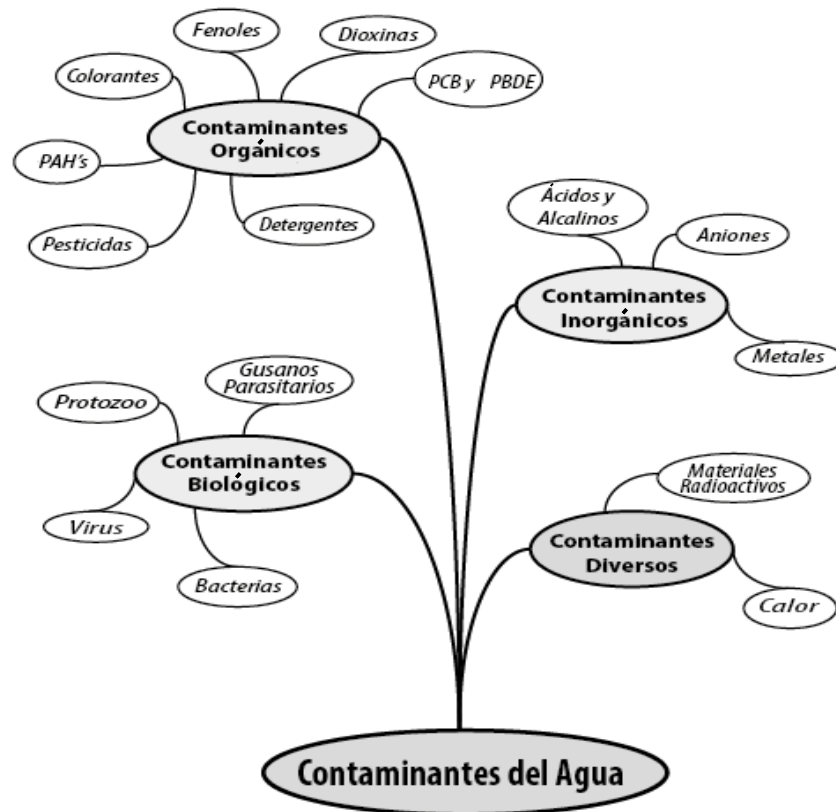


Figura 2.1 Clasificación de los Contaminantes del Agua con base en su Naturaleza Química. Adaptado de Gupta, 2013.

Por otra parte Sincero & Sincero (2003) los clasifican de la siguiente manera: Contaminantes físicos, químicos y biológicos (Figura 2.2).

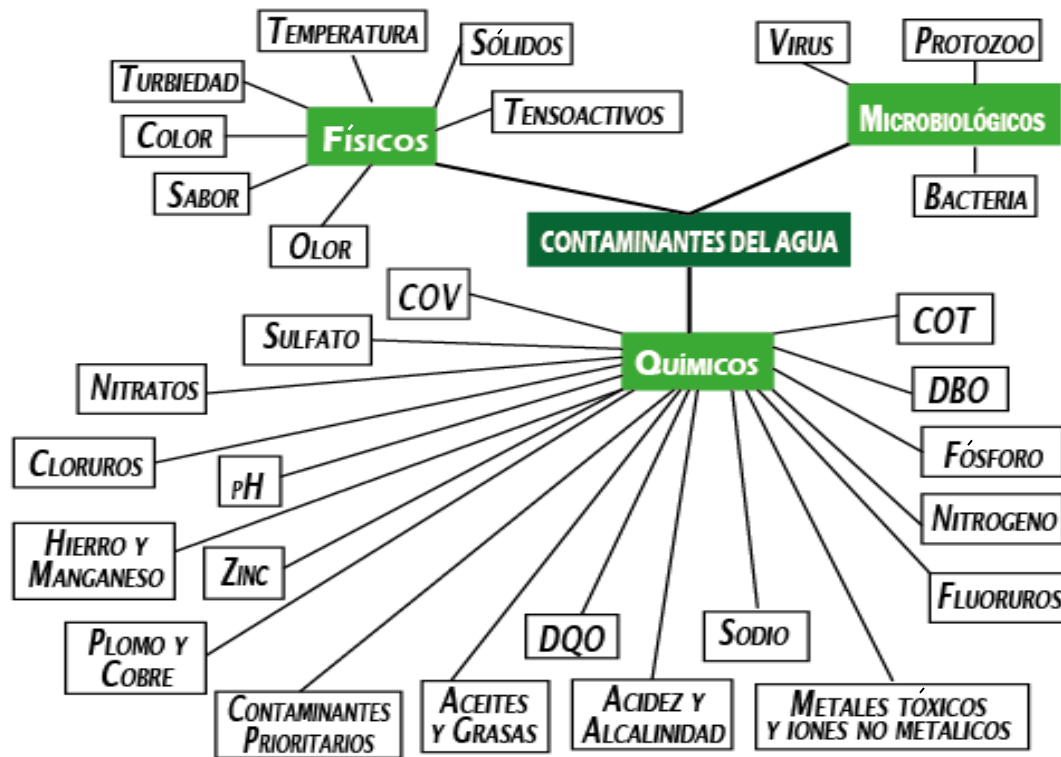


Figura 2.2 Clasificación de los Contaminantes del Agua con base en los Procesos de Tratamientos.

En este trabajo se utilizará la caracterización con base en la Figura 2.2, debido a que es más fácil relacionarla con los procesos de tratamiento de agua que se discutirán posteriormente.

2.5.2 Características Físicas

Turbiedad

Unidades utilizadas para resultados analíticos: NTU, Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

Método de análisis: nefelométrico o turbidométrico.

Origen: partículas de barro, lodos orgánicos y biológicos, lavado de lodo o sal, aguas residuales (Sincero & Sincero, 2003).

Efectos sobre la salud o ambiente: estético, incremento de la temperatura del agua, muerte de microorganismos acuáticos (aerobios), decrecimiento de la actividad

fotosintética en plantas y algas, disminución de las concentraciones de oxígeno (Environmental Protection Agency, 1993).

Definición: turbiedad es una medida en la cual la materia suspendida en el agua o bien absorbe o dispersa la luz radiante.

Color

Unidades utilizadas para resultados analíticos: mg/L Pt/Co, mg/L Hazen.

Método de análisis: colorimetría.

Origen: el color refleja la presencia de moléculas orgánicas complejas derivadas de la vegetación como hojas, troncos, entre otros., (Environmental Protection Agency, 1993).

Efectos sobre la salud o ambiente: principalmente efectos estéticos, aunque cabe señalar que el agua con un gran contenido de color puede estar contaminada por desechos industriales, hierro u otros metales, así mismo como con impurezas naturales (Environmental Protection Agency, 1993).

Definición: color es la percepción registrada como radiación de varias longitudes de onda percibidas por la retina del ojo. Materiales descompuestos de la vegetación o materia inorgánica crean esta percepción y se la imparten color al agua. Este a su vez puede ser rechazado no por efectos sobre la salud pero si estéticos.

Temperatura

Unidades utilizadas para resultados analíticos: grados Celsius (°C).

Método de análisis: medición en campo con termómetro o termistor

Origen: generalmente influida por condiciones climatológicas

Efectos sobre la salud o ambiente: altas temperaturas potencian la proliferación de microorganismos, que puede repercutir en problemas de olor, sabor, color y corrosión. Además variaciones en la temperatura afectan la viscosidad del agua y por ende los sistemas de tratamiento (Environmental Protection Agency, 1993).

Definición: es una propiedad física que mide la cantidad de calor que posee un cuerpo que está relacionada con la energía interna y entalpia de un sistema.

Sólidos Totales

Unidades utilizadas para resultados analíticos: mg/L (Secados a temperatura indicada).]

Método de análisis: gravimétrico

Origen: natural y sólidos agregados presentes en el agua.

Efectos sobre la salud o ambiente: mayormente organolépticos.

Definición: es el material que ha quedado contenido en la muestra después de haber sido evaporada entre 103°C y 105°C. Estos se pueden clasificar en sólidos filtrables y no filtrables (APHA, AWWA & WEF, 1992).

2.5.3 Características Químicas

Dureza

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L CaCO_3 .

Método normal de análisis: método de titulación y método de cálculo.

Origen: en general se originan en áreas donde la capa superficial del suelo es gruesa y contiene formaciones de piedra caliza. El agua dura se forma cuando el magnesio y el calcio los dos minerales se disuelven en el agua. También se debe a la presencia de hierro. El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto.

El magnesio y calcio son iones positivamente cargados. Debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene calcio y magnesio (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: el agua dura no tiene ningún riesgo a la salud pero puede crear problemas a los consumidores a partir de concentraciones superiores a 200 mg/L pueden afectar la tubería, los calentadores de agua y los lavaplatos (para fines de limpieza a mayor dureza, mayor será la utilización de jabón) (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Definición: es la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio) presentes en el agua.

Sulfato

Unidades utilizadas para resultados analíticos: mg/L SO_4^{2-} .

Método de análisis: turbidimétrico (sulfato de bario), cromatografía de iones.

Origen: rocas, formaciones geológicas y descargas (Environmental Protection Agency, 1993).

Efectos sobre la salud o ambiente: tiene un efecto laxante, especialmente en combinación con en sodio o el manganeso (Sincero & Sincero, 2003).

Definición: el sulfato existe naturalmente en todas las aguas, las concentraciones varían de acuerdo a la naturaleza de la tierra por la cual fluye. Se deriva principalmente de los sulfuros de metales pesados (hierro, plomo, níquel y cobre).

pH

Unidades utilizadas para resultados analíticos: unidades de pH.

Método de análisis: electrometría (es recomendable la medición en situ, de modo que no se modifiquen los equilibrios iónicos, debido al transporte o permanencia prolongada en recipientes cuando se lleva al laboratorio)

Origen: características físicas de las fuentes o de agua o soluciones presentes en ella.

Efectos sobre la salud o ambiente: valores excesivamente extremos afectarán la acidez o alcalinidad del agua, causando consecuencias organolépticas en los consumidores, también puede causar irritación ocular y agravamiento de trastornos cutáneos (Sincero & Sincero, 2003).

Definición: el pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrógenos presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Nitrógeno Kjeldahl

Unidades utilizadas para resultados analíticos: mg/L N.

Método de análisis: digestión, destilación y colorimetría (Método Kjeldahl).

Origen: principalmente por la presencia de materia orgánica (hojas, ramas entre otros.).

Efectos sobre la salud o ambiente: no tiene importancia directa, provoca que las plantas y otros organismos crezcan, pero cuando estos mueren, se pudren y llenan las aguas de malos olores, dejando un aspecto nauseabundo en el agua. Además el nitrógeno es tóxico para los peces.

Definición: es la cantidad de nitrógeno que se determina por el método Kjeldahl, incluye el nitrógeno de compuestos orgánicos y el nitrógeno amoniacal. En el caso de los vegetales y animales, el nitrógeno se encuentra en forma orgánica, en un medio acuoso este rápidamente se transforma en nitrógeno amoniacal (esto requiere de condiciones anaeróbica) de esta forma se encuentra mucho nitrógeno amoniacal en el agua lo que significa que se está en presencia de materia orgánica en descomposición, en un medio que no requiere mucho oxígeno. El nitrógeno orgánico incluye productos naturales, como las proteínas y pépticos ácidos nucleicos y urea y numerosos materiales orgánicos sintéticos (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Fósforo

Unidades utilizadas para resultados analíticos: mg/L P.

Método de análisis: digestión seguida de determinación del ortofosfato resultante.

Origen: natural o agregado por la materia orgánica (vegetación y desechos).

Efectos sobre la salud o ambiente: indirecto, principal causante de eutrofización de lagos.

Cloruros

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L Cl^- .

Método normal de análisis: valoración (método de Mohr); método de nitrato de mercurio.

Origen: existe en todas las aguas naturales, las concentraciones varían ampliamente y alcanzan un máximo en las aguas marinas (arriba de 35 000 mg/L Cl^-). En aguas dulces las fuentes incluyen suelo y formaciones rocosas, espuma de mar y descarga de residuos. Las aguas residuales contienen grandes cantidades de cloruros, así como los efluentes industriales. (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: no representan una amenaza para la salud humana y la principal consideración podría ser la relación con el sabor (Environmental Protection Agency, 1993).

Definición: son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal (-1), son sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. El sabor salado del agua se debe a la presencia de cloruros, pero cuando la sal es de calcio o de magnesio, el color puede estar ausente aun en concentraciones de 1 000 ppm (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Fluoruros

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L F^- .

Método normal de análisis: colorimétrico (después de destilación), electrodo de ion específico.

Origen: ocurre naturalmente en instancias muy raras, surge siempre exclusivamente de la fluorización de los suministros de agua pública y las descargas industriales (Environmental Protection Agency, 1993).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: los estudios han demostrado que la adición de fluoruros a los suministros de agua por encima de 0,6 mg/L F^- conducen a una reducción del decaimiento dental en niños en crecimiento y los beneficios óptimos ocurren alrededor de 1 mg/L F^- ; pero con una concentración por encima de 1,5 mg/L F^- proporciona efectos inversos (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Definición: son sales de ácido fluorhídrico (HF), y tienen como anión el F^- .

Hierro y Manganeseo

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L Fe y mg/L Mn.

Método normal de análisis: colorimétrico, espectrometría de absorción atómica.

Origen: formaciones geológicas, descargas de efluentes, drenaje ácido. Por su parte el manganeso tiene su origen en los minerales y rocas.

Efectos sobre la salud y medio ambiente: imparte colores marrones a las prendas lavadas, además el hierro afecta el sabor de las bebidas como té y café. Además es bastante dañino para la vida acuática. El manganeso al igual que el hierro afecta principalmente estéticamente el agua (Sincero & Sincero, 2003).

Definición: el hierro es un elemento metálico, magnético, maleable y de color plateado. El manganeso es un metal de transición, blando grisáceo parecido al hierro, duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable (Sincero & Sincero, 2003).

Plomo y Cobre

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L Pb y mg/L Cu.

Método normal de análisis: espectrometría de absorción atómica.

Origen: las fuentes de plomo son lixiviación de materiales, descargas de efluentes, ataque en las tuberías de agua; por su parte las fuentes de cobre son: plomería utilizada para distribuir el agua potable a las casas (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: estudios han demostrado que la exposición al plomo puede afectar adversamente la salud humana. Los tres sistemas del cuerpo humano más sensibles a la exposición con plomo son el sanguíneo, nervioso y el renal. Puede inhibir la acción enzimática, alterar física y mentalmente el desarrollo y crecimiento de los niños. Puede afectar la presión sanguínea de personas adultas (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000). El cobre puede causar malestar estomacal e intestinal y la enfermedad de Wilson.

Definición: el plomo es un metal pesado, blando, maleable, dúctil y tóxico. El cobre por su parte es un metal de transición altamente conductor, maleable y dúctil.

Nitrato

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L N o mg/L NO₃⁻

Método normal de análisis: colorimetría manual o automática; electrodo de ion específico, método de reducción de cadmio.

Origen: el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoníaco así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales puede

contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua, estos son solubles y no adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: daño a infantes podrían enfermar gravemente de metahemoglobina infantil (Environmental Protection Agency, 1993).

Definición: son sales o esteres de ácido nítrico.

Acidez y Alcalinidad

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L CaCO_3 .

Método normal de análisis: métodos volumétricos: valoración con hidróxido de sodio (acidez); valoración con ácido sulfúrico (alcalinidad).

Origen: surge por la presencia de ácidos fuertes o débiles de ciertas sales inorgánicas. La presencia de dióxido de carbono disuelto es el principal factor de acidez en la superficie de agua limpias (Sincero & Sincero, 2003). La alcalinidad del agua natural es debida a la presencia de carbonatos (bicarbonatos) e hidróxidos formados en reacciones que ocurren en el suelo por el cual el agua percola.

Efectos sobre la salud y medio ambiente: no existen afectaciones en la salud por causa de la acidez o alcalinidad incluso con valores superiores a los 400,0 mg/L CaCO_3 .

Definición: la alcalinidad del agua es la medida de su capacidad de neutralizar ácidos. También se utiliza el término capacidad de neutralización de ácidos (CNA). La alcalinidad de las aguas naturales se debe primariamente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también pueden contribuir. Asimismo la acidez del agua es la medida o capacidad de acidificar las bases, estos parámetros son de importancia debido a que influyen sobre los sistemas de tratamientos y los procesos biológicos son muy susceptibles a cambios en la acidez o alcalinidad (APHA, AWWA & WEF, 1992).

2.5.4 Contaminantes Prioritarios

Arsénico

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L As.

Método normal de análisis: espectrometría de absorción atómica.

Origen: el arsénico, se encuentra como materia de desecho en muchos minerales; también puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y por diversas actividades humanas (Sincero & Sincero, 2003).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: los efectos de la exposición aguda al arsénico son alteraciones gastrointestinales, cardiovasculares, nerviosas, renales y hepáticas

(Environmental Protection Agency, 1993). Se presentan hipocromías e hipercromías (en forma de gota de agua) principalmente en las partes no expuestas del cuerpo, hiperqueratosis palmoplantar e hiperqueratosis popular en cualquier parte del cuerpo excepto palmas y plantas, así como lesiones ulceradas compatibles con un diagnóstico de carcinoma epidermoide. Además de cáncer de piel, cirrosis, hemoangioendotelioma, problemas de reabsorción renal, inhibición de la síntesis de la porfirina, afectación a los glóbulos blancos, abortos espontáneos, neuropatía periférica, parálisis, pérdida de la audición, inhibición de algunas enzimas, inhibición de la fosforilación oxidativa y de la reparación del ADN, daños al intestino (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Magnesio

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L Mg.

Método normal de análisis: método de titulación y espectrometría de absorción atómica.

Origen: formaciones geológicas.

Efectos sobre la salud y medio ambiente: indirecto (aumenta dureza del agua).

Nitritos

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L NO₂⁻.

Método normal de análisis: colorimetría manual o automática y espectrometría de absorción atómica.

Origen: las heces de los animales contiene proteína no asimilada (nitrógeno orgánico) y las proteínas que queda en los cuerpos de los animales y plantas que mueren se convierten en gran medida en amoníaco por acción de las bacterias heterótrofas, en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. El amoníaco liberado por la acción de las bacterias sobre la urea y las proteínas es utilizado por las plantas. Si se libera en exceso es oxidado por las bacterias (*nitrosomas*) que en condiciones aeróbicas convierten el amoníaco a nitrito (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: cuando el nitrito entra en el flujo sanguíneo, reacciona con la hemoglobina y forma un compuesto llamado metahemoglobina. Este compuesto reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. El nivel de oxígeno disminuye, y los bebés muestran síntomas de una enfermedad llamada metahemoglobinemia entre los síntomas se incluyen dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Amonio

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L NH₄.

Método normal de análisis: espectrometría, método colorimétrico y nesslerización.

Origen: aguas vertidas por las industrias, redes de alcantarillado y producidas por procesos agrícolas y ganaderos ya que las heces de los animales contienen grandes cantidad de materia proteínica no asimilable, la cual se convierte en gran medida en amonio (Environmental Protection Agency, 1993).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: el contacto de los ojos con cantidades más altas de amoníaco líquido o de iones de amonio produce quemaduras graves de los ojos que pueden causar ceguera. La presencia de amonio en el agua reduce la concentración de oxígeno disuelto necesario para la vida acuática y acelera la corrosión de los metales y materiales de construcción (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Aluminio

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L Al.

Método normal de análisis: colorimetría y espectrometría de absorción atómica.

Origen: el aluminio es un elemento muy abundante en la naturaleza, ocupa el tercer lugar en orden de abundancia entre los elementos de la corteza terrestre formando parte del 8% de la misma; es un constituyente natural de suelos, plantas y tejidos animales (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: daño al sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, apatía y temblores severos.

Cloro Residual

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L Cl₂.

Método normal de análisis: colorimétrico (in situ) y espectrofotométrico.

Origen: plantas de tratamiento de agua y efluentes industriales.

Efectos sobre la salud y medio ambiente: sin importancia directa.

Definición: es un indicador de la ausencia de microorganismos patógenos.

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos [Benzopireno]

Unidades usadas para resultados analíticos: mg/L PAHs.

Método normal de análisis: cromatografía líquida de alta presión.

Origen: es un componente natural de las materias primas orgánicas, especialmente de petróleos crudos; generado por pirolisis de materia orgánica (Environmental Protection Agency, 1993).

Efectos sobre la salud y medio ambiente: esta sustancia es probablemente carcinógena para los seres humanos y puede originar lesión genética o alteraciones en la

reproducción. Está considerada como la novena sustancia más peligrosa debido a su potencial tóxico en la salud humana (APHA, AWWA & WEF, 1992).

2.5.5 Características Microbiológicas

Bacteria

Unidades utilizadas para resultados analíticos: número de organismos/100 mL de muestra.

Método de análisis: método de filtración por membrana, método de tubos múltiples.

Origen: las coliformes fecales se originan de los desechos humanos y animales. Las coliformes totales incluida la fecal y también bacterias con propiedades similares se originan en el suelo (Sincero & Sincero, 2003).

Efectos sobre la salud o ambiente: enfermedades patógenas en dependencia de la bacteria: *Salmonella typhosa*: fiebre tifoidea; *Shigella flexneri*: disentería bacilar; *Clostridium tetani*: toxinas excretadas productoras de tétano; *Clostridium botulinum*: toxinas excretadas productoras de botulismo; *Corynebacterium diphtheriae*: difteria; *Escherichia coli*: diarreas hemorrágicas y muerte (Sawyer, Perry, McCarty, & Gene, 2000).

Definición: son microorganismos procariotas unicelulares, seres vivos incapaces de usar directamente alimentos en particulares (Sincero & Sincero, 2003).

Virus

Unidades utilizadas para resultados analíticos: PFU/100 mL, unidades formadoras de placas..

Método de análisis: técnicas microbiológicas especializadas.

Origen: desechos humanos y animales.

Efectos sobre la salud o ambiente: poliomelitis, gastroenteritis, hepatitis infecciosa.

Definición: es un agente submicroscópico de enfermedades infecciosas que requiere de células vivas para poder multiplicarse (se multiplican a velocidad proporcional). Los dos componentes esenciales de los virus son las proteínas y los ácidos nucleicos. Cabe señalar que los virus no son susceptibles a la cloración (Sincero & Sincero, 2003).

Giardia Lambia

Unidades utilizadas para resultados analíticos: número de quistes/100 mL.

Método de análisis: técnicas microbiológicas avanzadas.

Origen: la contaminación fecal de origen humano o animal del suministro de agua podría producir la transmisión hídrica de la giardiasis. Se ha considerado que sólo basta 10 quistes ingeridos en cápsulas para infectar al hombre y es posible que incluso menos suficientes para iniciar la infección. Estos pueden sobrevivir hasta 2 meses en el agua dulce a 8°C. Los quistes de giardia son más resistentes a la desinfección que las bacterias coliformes (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Efectos sobre la salud o ambiente: puede presentar diarrea acuosa aguda con dolor abdominal, intermitente y a menudo debilitante que se caracteriza por la expulsión de excrementos fétidos acompañado de flatulencias y anorexia (APHA, AWWA & WEF, 1992).

Definición: son células sencillas protistas que se encuentran un nivel trófico arriba de las bacterias.

Cryptosporidium

Unidades utilizadas para resultados analíticos: número de quistes/100 mL.

Método de análisis: técnicas microbiológicas avanzadas.

Origen: presente en los desechos humanos y animales.

Efectos sobre la salud o ambiente: efectos patogénicos sobre niños y adultos, cuando entra al sistema gastrointestinal causa infección denominada criptosporidiosis, además de causar fiebre, dolor estomacal, pérdida de peso, diarrea (Environmental Protection Agency, 1993).

Definición: son células sencillas protistas que se encuentran un nivel trófico arriba de las bacterias.

2.6 MARCO LEGAL APLICADO

2.6.1 Marco Jurídico

Desde el punto de vista jurídico institucional existen muchas organizaciones que se encargan de la administración, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible, equitativo y de la preservación de la cantidad y calidad de los recursos hídricos.

Dentro de dichas instituciones se encuentra el Instituto Nicaragüense de Acueducto y Alcantarillados (INAA) encargado de regular y controlar a los entes reguladores públicos como es el caso de la Empresa Nicaragüense de Acueducto y Alcantarillados (ENACAL) y a sus delegaciones municipales y departamentales.

Asimismo el nuevo Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE) en conjunto con la Oficina de Agua, Saneamiento e Higiene (OASH) ejecutan los programas de inversión de agua potable y saneamiento rural, existen actualmente 37 gobiernos municipales que administran sus recursos de agua. Así mismo los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) y Proyectos Guiados por la Comunidad (PGC) se encargan de administrar las obras construidas en las comunidades rurales.

Por otra parte existen organismos como la Red de Agua y Saneamiento de Nicaragua (RASNIC), una institución que comparte experiencias y transfiere conocimiento en busca de la modernización y fortalecimiento del sector de agua y saneamiento en los sectores rurales.

En la actualidad existe una nueva institución que engloba a las instituciones ya existentes además de que está en la facultad de crear nuevas instituciones de ser necesario, dicha institución es el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Según la Ley 620: CNRH es la instancia de más alto nivel y foro de concertación y participación, con facultades asesoras y de coordinación, como de aprobación de las políticas generales, de planificación y seguimiento a la gestión que realiza La Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el sector hídrico.

A continuación se mencionan las principales normas, decretos y manuales emitidos por estas instituciones.

Ley 217: Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ley Nacional puesta en vigencia en 1996, en resumen es la ley introductoria dirigida a proteger los recursos hídricos de una manera más integral, también establece que el agua es un patrimonio nacional y de dominio público para satisfacer las necesidades básicas de la población.

Ley 620: Ley General de Aguas y su Reglamento

Esta ley se encarga de ordenar y regular la gestión integrada de los recursos hídricos a partir de cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país. Asimismo crea y define las funciones y facultades de las instituciones responsables de la administración del sector hídrico, los deberes y derechos de los usuarios, y garantiza la participación ciudadana en la gestión del recurso.

Manual de Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento (MEPAS, 2009)

Es un manual elaborado por el Nuevo FISE, tiene como objetivo brindar a los diferentes actores que trabajan en el sub sector, una guía general de los procesos y procedimientos en todo el ciclo del proyecto, así como las principales normas y criterios que todos los actores deberán cumplir en la aplicación de los procedimientos.

Metodología de Pre inversión para Proyectos de Agua y Saneamiento (MPPAS, 2012)

Es una serie de metodologías de pre inversión para proyectos de agua y saneamiento, emitidas por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), dentro de las cuales se describen los tipos de fuentes de abastecimiento, los tipos de tratamiento de agua potable sugeridos para las comunidades rurales. También aborda temas como los tipos de tratamiento para aguas residuales, la línea de conducción, conexiones domiciliarias, los sistemas de bombeo, entre otros.

Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable

Estas normas fueron elaboradas por INAA que tomó como base las normas elaboradas por el Ministerio de Construcción y Transporte (MCT) en 1989. Este documento es un compendio de 10 capítulos que aborda los principales parámetros a tomar en cuenta para la elaboración de un tren de tratamiento de agua en los sectores rurales del país.

2.6.2 Marco Ambiental

Es un instrumento que permite definir sobre la base de un diagnóstico, los procedimientos de gestión ambiental tanto en la relación interna como externa; contiene las herramientas necesarias para asegurar la incorporación de las variables ambientales en los proyectos; y dar cumplimiento a la legislación Nicaragüense en materia ambiental.

Marco de Gestión Ambiental Social (MAGAS, 2012)

Proporciona lineamientos para asegurar la sostenibilidad ambiental y social de las actividades financiadas con recursos del Proyecto de Adaptación al Cambio Climático del Sector de Agua y Saneamiento (PACCAS), en el marco de la legislación Nicaragüense y de las políticas de salvaguardas ambientales y sociales del Banco Mundial.

Establece los lineamientos, procedimientos y metodologías para la gestión ambiental y social, a través de instrumentos que permitan prevenir, controlar y mitigar los potenciales impactos adversos y mejorar el desempeño del proyecto desde el punto de vista ambiental y social.

NTON 05 007-98 (Anexo A)

Establece los parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua, de acuerdo con los usos que se destinen. Con el objetivo de determinar la capacidad y condiciones del aprovechamiento de los recursos hídricos y los niveles de calidad de vertimiento tolerables para cada cuerpo de agua se establecen seis tipos de cuerpos de agua:

Tipo 1: aguas destinadas al uso doméstico e industrial (potable)

Categoría 1-A: aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.

Categoría 1-B: aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración.

Tipo 2: usos agropecuarios

Categoría 2-A: aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.

Categoría 2-B: aguas destinadas para riego de cualquier otro tipo de cultivo y uso pecuario.

Tipo 3: aguas marinas o medios costeros destinados a la cría y explotación de moluscos para su consumo humano.

Tipo 4: aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

Categoría 4-A: aguas para el contacto humano total.

Categoría 4-B: aguas para el contacto humano parcial.

Tipo 5: aguas destinadas para usos industriales que no requieren agua potable.

Tipo 6: aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

Normas CAPRE (Anexo B)

Es una norma adoptada por el gobierno de Nicaragua que fue elaborada por el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Cuyo objetivo es proteger la salud pública ajustando, eliminando o reduciendo al mínimo los componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad.

2.7 TIPOS DE TRATAMIENTO

“La finalidad del diseño de las plantas de tratamiento es remover la turbiedad así como los contaminantes químicos y patógenos presentes en las fuentes de agua, de la forma más asequible y conveniente posible” (Chittaranjan & Ravi, 2011).

Existen muchas tecnologías que han sido desarrolladas desde décadas atrás, con el propósito de mejorar la eficiencia de remoción de los parámetros indeseables en el agua. Pero cabe señalar que cada una de estas tecnologías se debe de aplicar en el contexto de la realidad de la comunidad. Chittaranjan & Ravi (2011) mencionan: “Algunas son ideales para comunidades (filtración natural), otras son más apropiadas para familias o individuos (destilación solar)”.

Lo ideal sería poder contar con una fuente que cumpla con todos los parámetros establecidos por las leyes Nicaragüenses y Norma CAPRE, pero debido a que las actividades antropogénicas se realizan cerca de las fuentes de agua, eso es algo imposible. Según SNIP (2012) “Cuando el agua captada no cumple con las normas de calidad, se deberá considerar un sistema de desinfección apropiado, que garantice la calidad bacteriológica del agua para consumo humano, generalmente aplicación de cloro”.

En caso que la fuente de abastecimiento de agua no se ajuste a las normas de calidad de agua cruda requeridas, es necesario un proceso de tratamiento de depuración ya sea por filtración lenta, que consiste en hacerla pasar por un lecho de arena en forma descendente o ascendente y a muy baja velocidad; o filtración rápida que conlleva los pasos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y finalmente un proceso de desinfección que elimine la contaminación bacteriológica (SNIP, 2012).

2.7.1 Tratamientos Físicos

Rejillas

Es el equipo más sencillo y barato en el tratamiento de las aguas potables, sin embargo su sencillez no le resta importancia. El propósito de las rejillas es de separar los sólidos inorgánicos de gran tamaño que son arrastrados por el flujo de agua, se puede encontrar hojas, ramas, rocas, plástico, entre otros. Estos sólidos pueden interferir en los procesos posteriores y además atascar las tuberías, por tal razón su remoción es importante.

La forma más sencilla de separar sólidos es por medio de rejillas o tamices con un espaciamiento inferior al diámetro de las partículas que se desean separar. Después de capturadas las partículas por las rejillas estas pueden ser removidas por limpieza manual o mecánica (Sincero & Sincero, 2003)

En la Figura 2.3 se puede observar las rejillas de barras en un depósito de restos. En la Tabla 2.2 se muestran los criterios de diseño para las rejillas de barras.

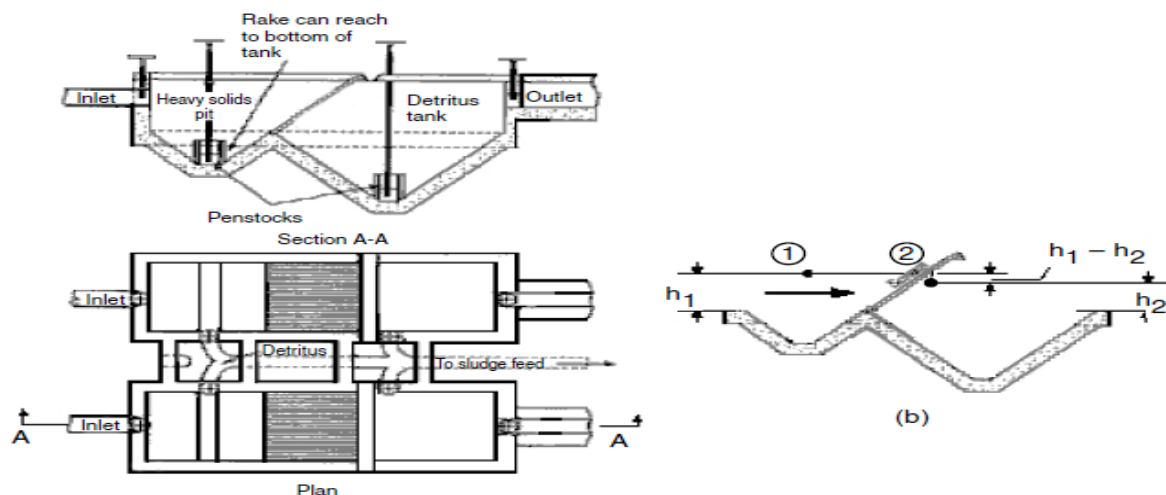


Figura 2.3 Rejillas de Barra en Tanque de Residuos.

Fuente: Sincero & Sincero, 2003.

Tabla 2.2 Parámetros de Diseño para Rejillas de Barra.

Parámetro	Limpieza Mecánica	Limpieza Manual
Tamaño de la barra		
Ancho (mm)	5,0 – 20,0	5,0 – 20,0
Grosor (mm)	20,0 – 80,0	20,0 – 80,0
Separación entre barras (mm)	20,0 – 50,0	15,0 – 80,0
Inclinación con respecto a la vertical (°)	30,0 – 45,0	0 – 30,0
Velocidad de aproximación (m/s)	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0

Fuente: (Sincero & Sincero, 2003).

Filtros en Múltiples Etapas

La filtración en múltiples etapas (FiME) es la combinación de unidades de pre tratamiento con filtración en grava (FGDi y FG) y unidades de tratamiento con filtración lenta en arena (FLA) con la finalidad de obtener un efluente de calidad sin necesidad de la utilización de reactivos químicos durante el proceso (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

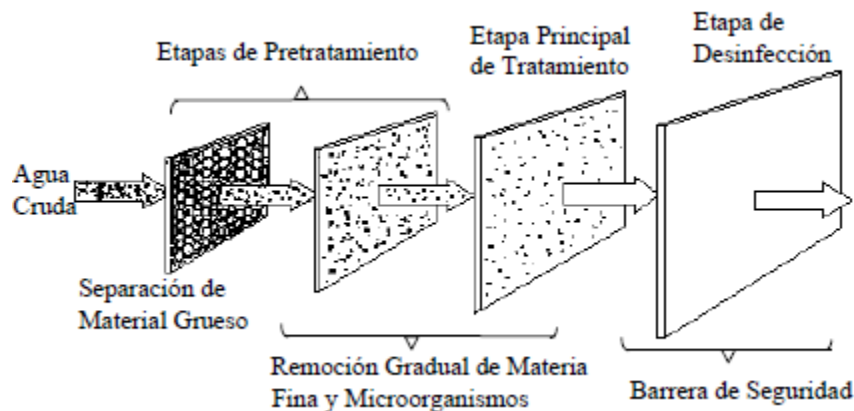


Figura 2.4 Procesos que Integran la FiME.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Los filtros dinámicos son tanques que contiene una capa delgada de grava fina (6,0 a 13,0 mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13,0 a 25,0 mm) y un sistema de drenaje en el fondo.

Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento antes altas cargas de sólidos transportados por la fuente durante unas pocas horas.

Cuando la fuente transporta valores elevados de sólidos fácilmente sedimentables, estos se depositan en la superficie del lecho de grava, colmatándolo rápidamente y restringiendo parcial o totalmente el paso de agua. Esta respuesta protege las unidades de tratamiento siguientes (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

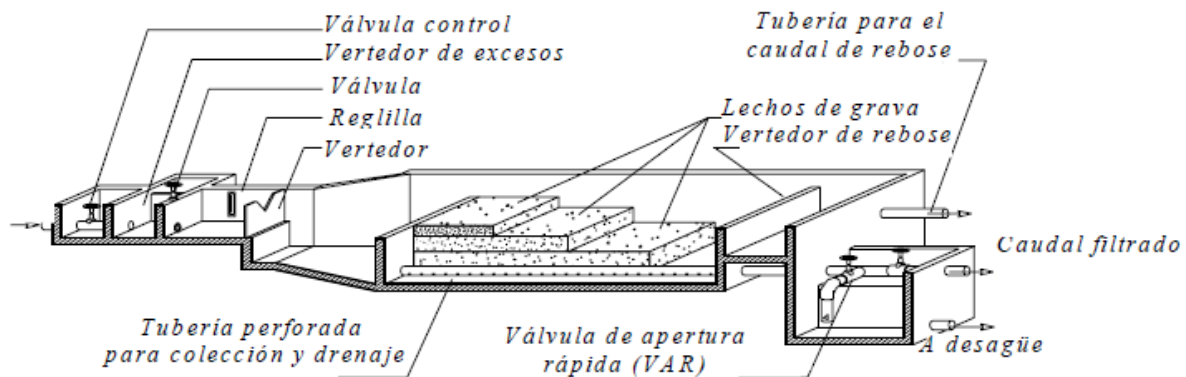


Figura 2.5 Esquema Isométrico de un Filtro Grueso Dinámico.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Filtración Gruesa (FG)

Los filtros gruesos de grava pueden ser de flujo horizontal o vertical. Consiste en un compartimiento principal donde se ubica un lecho filtrante de grava. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo.

Para el caso de un filtro ascendente se tiene un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme dentro del filtro.

Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos se van colmatando con las partículas retenidas del agua, por lo cual se requiere una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de apertura a la salida de la unidad.

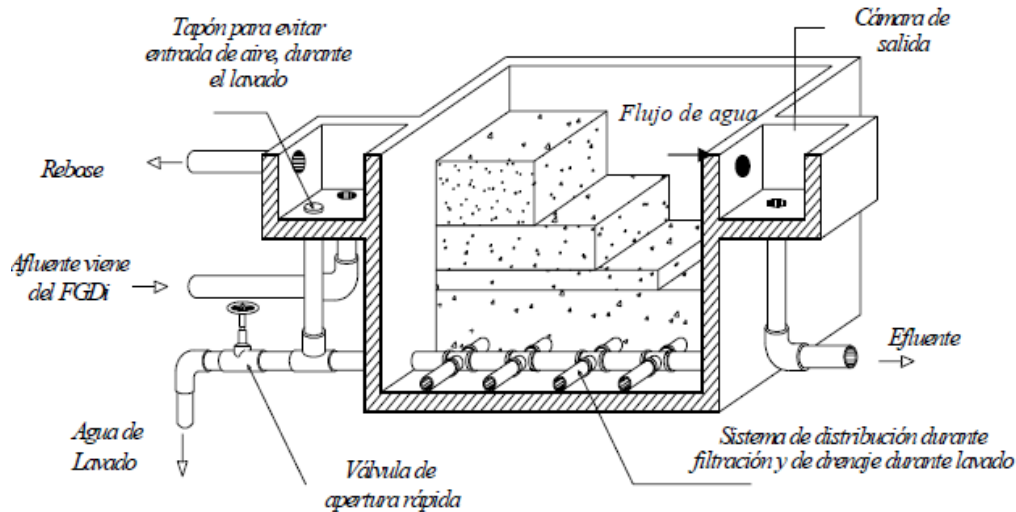


Figura 2.6 Esquema Isométrico de un Filtro Grueso Ascendente en Capas.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

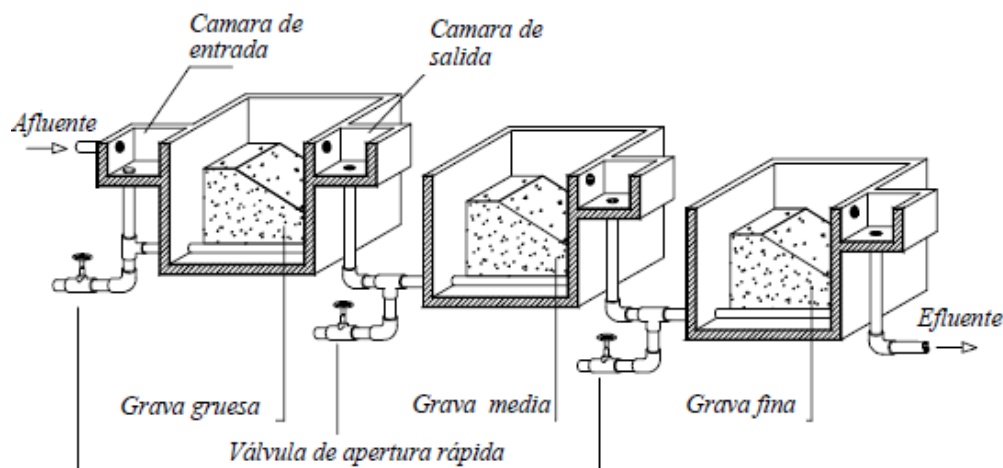


Figura 2.7 Esquema Isométrico de un Filtro Grueso Ascendente en Serie.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Filtración Lenta en Arena (FLA)

El tratamiento del agua en una unidad del FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua.

Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una

velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

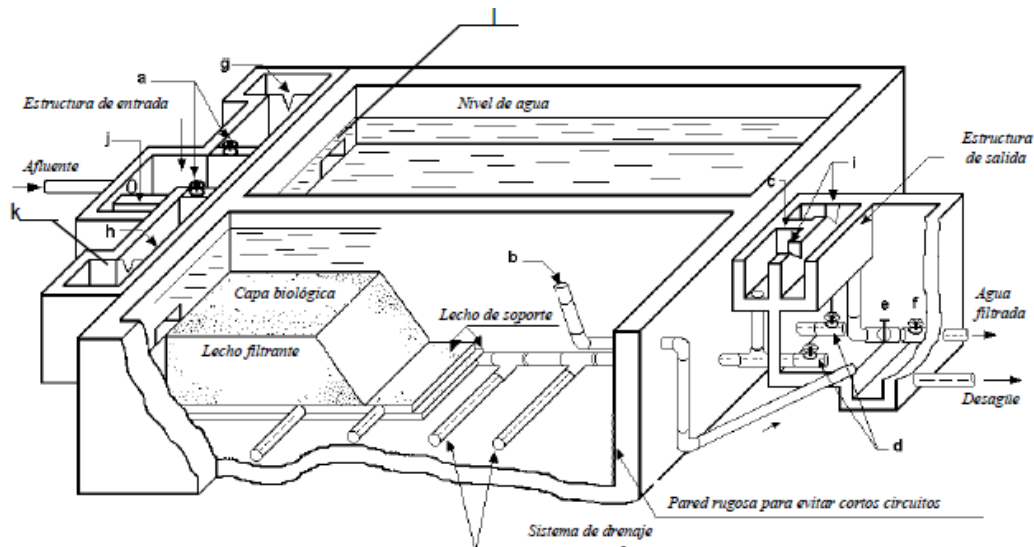


Figura 2.8 Componentes Básicos de un FLA con Control a la Entrada.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

- a. Válvula para controlar entrada de agua pre tratada y regular la velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, “cuello de ganso”.
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- e. Válvula para desechar agua tratada
- f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g. Vertedero de entrada
- h. Indicador calibrado de flujo
- i. Vertedero de salida.
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

Alternativas de Tratamiento FiME

Según OPS, CEPIS & COSUDE (2005) en dependencia de los parámetros de calidad existentes en el agua, la eficiencia de las etapas de tratamiento y consideraciones de costos se pueden adoptar las siguientes alternativas de tratamiento FiME:

- FGD_i + FLA
- FGD_i + FGAC + FLA
- FGD_i + FGAS + FLA

Las condiciones mínimas requeridas para la adopción de un sistema de filtración por múltiples etapas serán asumidas de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FiME.

<div> <div>Turbiedad (NTU)</div> <div>Color Real (UC)</div> <div>Coliformes Fecales (UFC/100)</div> </div>	< 10,0	10,0 – 20,0	20,0 – 50,0	50,0 – 70,0 *	
	< 20,0	20,0 – 30,0	30,0 – 40,0	30,0 – 40,0 *	
< 500,0	Sin FGA	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{30,30}	Bajo
500,0 - 10 000	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{30,30}	Medio
10 000 - 20 000 (*)	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{30,30}	Alto

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

*Para valores superiores a 70,0 NTU; 20 000 UFC/100 mL o 40,0 UC, se recomienda estudio de planta piloto. FGAS₃: Filtro Grueso Ascendente en Serie (3 Etapas); FGH₃: Filtro Grueso Horizontal (3 Etapas); FGAC: Filtro Grueso Ascendente en capas. Todas las opciones incluyen un FGD_{i,0} y FLA_{0,15} (el subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h).

Aireadores

Los procesos de aireación se aplican al agua, después de que se haya sometido a uno o más procesos de pretratamiento, para mejorar la calidad, con este proceso se logra:

- Remoción de sabores y olores
- Remoción de gases disueltos (gas sulfhídrico y sulfuroso)
- Elevación de pH del agua por la eliminación de dióxido de carbono hasta su punto de equilibrio.
- Oxidación de ciertas sustancias existentes en el agua

Tabla 2.4 Remoción de Anhídrido Carbónico.

Aguas con menos de 10,0 g/m ³	Hasta 50%
Aguas con más de 10,0 g/m ³	60% a 80%
Tiempo de aireación más eficiente	15 s

Fuente: NTON 03 009-39.

Tabla 2.5 Remoción de Hierro y Manganeseo.

280,0 g de oxígeno precipitan	1 000 g de Fe
248,0 g de oxígeno precipitan	1 000 g de Mn

Fuente: NTON 03 009-39.

Aireadores por Bandeja

Tabla 2.6 Criterios de Diseño de Aireadores por Bandeja.

Capacidad	500,0 m ³ /m ² -d a 1 800 m ³ /m ² -d
Número de plataformas o bandejas	3 a 6 unidades
Altura total del aireador	2,10 m a 2,70 m
Separación vertical entre bandejas	0,40 m a 0,60 m
Orificios de distribución	
Primer tablero	Orificios diámetro de 5,0 a 10,0 mm
Otros tableros	Orificios diámetro de 8,0 a 15,0 mm
Contenido primer tablero	Solo distribución
Contenido demás tableros	Coque, grava o escoria tamaño de 0,012 m a 0,025m, altura del material 0,20m a 0,25m

Fuente: NTON 03 009-39.

2.7.2 Tratamientos Químicos

Coagulación y Floculación

Coagulación y floculación son dos términos que van de la mano, estos son componentes esenciales en las plantas de tratamiento. Esto se debe a que el agua cruda contiene partículas orgánicas e inorgánicas. Las partículas orgánicas pueden ser bacterias, protozoo, vegetación que ha caído en el agua, en cambio las partículas inorgánicas pueden ser partículas de arcilla, sedimentos y minerales. También el agua contiene materia particulada y disuelta.

Todas estas partículas y precipitados pueden ser divididos en coloidales y suspendidas. Son consideradas partículas suspendidas todas aquellas que presentan un diámetro de partícula en el rango de 0,1 µm a 100,0 µm. Por otra parte las partículas coloidales son aquellas que presentan un diámetro de partícula en el rango de 1,0 µm a 1,0 nm (Mackenzie, 2010).

La finalidad de la coagulación y subsecuentemente la floculación es de convertir estas partículas pequeñas en partículas grandes llamadas flóculos. Los flóculos que presentan diámetros de partículas mayores que lo que lo hacen las partículas por si solas pueden ser removidos por los procesos siguientes, como en la sedimentación, filtración o por flotación por aire disuelto (Mackenzie, 2010).

Los coagulantes usados en las plantas de tratamiento deben de presentar las siguientes características:

- No deben de ser tóxicos en las dosis de trabajo
- Son insolubles a pH neutro
- Tener una alta densidad de carga

En las Tablas 2.7 y 2.8 se puede observar los coagulantes inorgánicos más frecuentes, siendo el sulfato de aluminio el más usado, común y barato de todos:

Tabla 2.7 Coagulantes Inorgánicos Frecuentemente Usados.

Coagulante	Formula Química	Peso Molecular (g/mol)	Observaciones
Sulfato de Aluminio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	594,0	Contaminación por Hg puede ser motivo de preocupación
Aluminato de Sodio	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	164,0	Proporciona alcalinidad y control del pH
Cloruro de Aluminio	AlCl_3	133,5	Utilizado en mezclas con polímeros
Cloruro Polialuminico	$\text{Al}_w(\text{OH})_x(\text{Cl})_y(\text{SO}_4)_z$	Variable	Utilizado cuando la contaminación con Hg es una preocupación
Sulfato Polialuminico	$\text{Al}_w(\text{OH})_x(\text{Cl})_y(\text{SO}_4)_z$	Variable	Utilizado cuando la contaminación con Hg es una preocupación
Cloruro de Polihierro	$\text{Fe}_w(\text{OH})_x(\text{Cl})_y(\text{SO}_4)_z$	Variable	
Cloruro Férrico	FeCl_3	162,5	
Sulfato Férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	400,0	

Fuente: Mackenzie, 2010.

Tabla 2.8 Coagulantes Orgánicos Frecuentemente Usados.

Coagulante	Formula Química
Epi-DMA	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{N}^+ \text{Cl}^- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} - \text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{OH} \end{array} - \text{CH}_2 \right]_x$
Poly-DADMAC	$\left[\begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} - \text{N}^+ \text{Cl}^- - \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_x \quad \left[\begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} = \text{CH}_2 \end{array} - \text{N}^+ \text{Cl}^- - \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_y$

Fuente: Mackenzie, 2010.

La dosis óptima de coagulante debe de ser determinada mediante pruebas de laboratorio, el pH óptimo para el sulfato de aluminio es de 5,5 a 7,7.

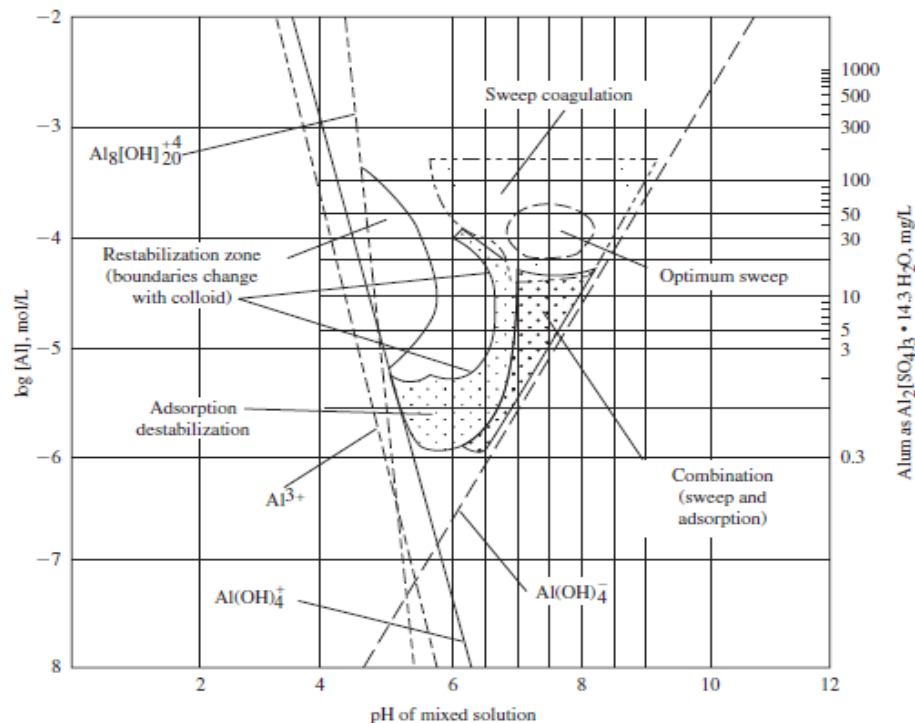


Figura 2.9 Diagrama de Diseño y Operación para Coagulación con Sulfato de Aluminio.

Fuente: Mackenzie, 2010.

Floculación a Micro Escala

La floculación de pequeñas partículas (menores de $0,1\ \mu\text{m}$ en diámetro) es causado por difusión. La velocidad de floculación es relativa a la velocidad a la cual las partículas se difunden. También es conocido con el nombre de floculación pericinética o natural.

Floculación a Macro Escala

Para partículas de diámetro mayor a $1,0\ \mu\text{m}$ se utiliza el mezclado mecánico. A este mecanismo se le conoce como floculación ortocinética o inducida.

La floculación eficiente requiere de un mezclado para generar el contacto de las partículas entre sí.

Cloración

La teoría Chick-Watson en forma simplificada establece que la velocidad de destrucción de los microorganismos patógenos es directamente proporcional al número de patógenos y la concentración de desinfectante (AWWA & ASCE, 2005).

La meta actualmente para las plantas de potabilización es mantener el cloro libre residual, lo cual asegura que el agua está debidamente desinfectada. El cloro libre residual es un término que es usado para referirse al cloro residual que no está combinado con amonio o nitrógeno orgánico.

El cloro está disponible de forma líquida y gaseosa, la forma gaseosa es la más frecuentemente utilizada por las grandes PTAP, pero eso ha venido cambiando con el tiempo, esto se debe a que el cloro gaseoso es difícil de transportar y manejar, por lo cual representa un alto riesgo para todos los operarios (AWWA & ASCE, 2005).

AWWA & ASCE (2005) manifiestan que cuando el cloro entra en contacto con el agua, este rápidamente se forma en ácido hipocloroso (HOCl), el cual se disocia y forma una mezcla del ácido y el ion hipoclorito (OCl^-). Además ambas formas son desinfectantes, pero la forma ácida es más efectiva, la fracción de HOCl es cerca de mil veces más efectiva que la forma ionizada.

Los porcentajes tanto del ion como del ácido en estado disociado son fuertemente afectados por el pH y en menor medida por la temperatura. En la Figura 2.10 se puede

apreciar que a una temperatura estable de 15°C y una variación de pH de 8 a 7, el porcentaje de HOCl puede aumentar hasta 60%.

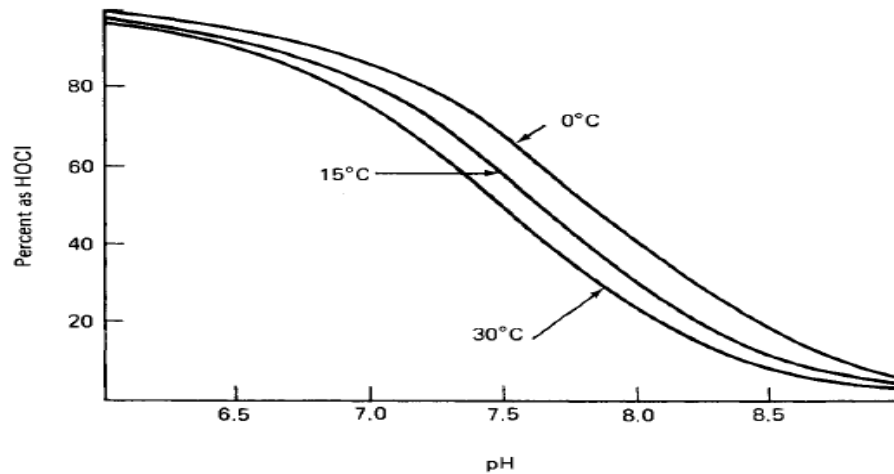


Figura 2.10 Influencia del pH y la Temperatura en la Fracción de Cloro Acuoso (HOCl).

Fuente: Mackenzie, 2010.

2.8 TRATAMIENTO DE LODOS

La remoción de ciertos materiales del agua cruda es la principal meta de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), a estos materiales se les conoce comúnmente como desechos, dentro de estos desechos se encuentran sólidos, semisólidos, líquidos y gases. Al mismo tiempo se pueden clasificar en desechos orgánicos e inorgánicos.

Existen muchas más clasificaciones que se les puede dar a todos estos desechos con base en sus características, pero el término que engloba a todo ellos se le conoce como lodos (Howe, Hand, Crittenden, Rhodes Trussel, & Tchobanoglous, 2012).

Estos lodos tienen que ser tratados antes de ser depositados en el ambiente, pero su tratamiento al igual que con el agua cruda depende de los materiales presentes en el agua cruda que han sido removidos, mediante los procesos de tratamiento discutidos en la sección 2.7.

El objetivo del tratamiento es minimizar la cantidad de materiales que van a ser depositados, el tratamiento de lodos se puede hacer mediante el reciclaje y recuperación de los materiales (recuperación de coagulantes o ablandadores); y la reducción del contenido de residuos.

Hay que considerar que los impactos ambientales deben de ser reducidos al mínimo, durante el manejo de desechos, dentro de las alternativas para el tratamiento se encuentran:

- Descargas en Lagunas
- Entierro en un Vertedero
- Reusó Benéfico
 - Aplicación en la Tierra, Mezclado con Biosólidos
 - Elaboración de Cemento, Fabricación de Bloques
 - Cobertura de Relleno

2.9 Cuidado de la Cuenca

El manejo y cuidado de cuenca es responsabilidad de todos los habitantes de la cuenca en sus diferentes zonas alta, baja y media. Una cuenca saludable es aquella que está en armonía con las necesidades de la gente, la tierra y los recursos naturales. Las cuencas saludables aumentan la calidad de vida y ambiente que son pilares básicos para el desarrollo de sistemas de economía estables.

Morales, (2000) citado por Valenzuela (2003) dice que “Las acciones técnicas para el manejo de cuencas deben realizarse en forma permanente para contribuir a la sostenibilidad ambiental ya que están orientadas a la preservación, recuperación, control, protección, conservación y aprovechamiento sostenido de los elementos y recursos naturales así como a la protección del hombre que habita en la cuenca o que depende de los recursos de la misma”.

Dichas acciones están subdivididas en acciones orientadas al manejo (preservación, recuperación y protección) y la conservación. El manejo lleva implícito acciones directas que pueden ser ejecutadas individualmente; la conservación está orientada a la realización de acciones integrales que promueven el uso racional de los recursos. (Valenzuela, 2003).

El grupo de acciones que se presentan a continuación está comprendido en la categoría de preservación, recuperación y protección y se pueden mencionar las siguientes:

- Acciones de control de procesos de erosión (construcción de pequeños diques).
- Barreras vivas y muertas.
- Pequeñas reforestaciones.

- Control de torrentes e inundaciones (construcción de cauces y canales de desvío).
- Prácticas de rehabilitación de áreas degradadas.

Las acciones técnicas de conservación comprenden todas aquellas medidas que se ejecutan directamente, asociadas a los sistemas de transformación productiva.

- Conservación de suelos para reducir la erosión
 - Medidas estructurales directas, como la construcción de terrazas, zanjas de laderas y muros de piedras.
 - Medidas no estructurales indirectas, regulación del uso del suelo, normas para la construcción de obras de infraestructura de apoyo a la producción.
- Conservación de bosques o manejo forestal y vegetación.
 - Reforestación y manejo de los bosques de protección
 - Protección y control forestal
 - Establecimiento de viveros
 - Aprovechamiento de los bosques productivos
 - Demarcación de las áreas de intervención y cercado de las mismas
 - Educación ambiental.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO

En este capítulo se describirán las características de las seis fuentes localizadas en las tres comunidades de la Micro Región 1 del municipio de San Lucas. Los recursos hídricos de este municipio se alimentan del Río Tapacalí.

El Río Tapacalí es uno de los principales afluentes de la cuenca del Río Coco (45). Otros recursos hídricos que son afluentes importantes de la cuenca del Río Coco son: Macuelizo y Dipilto, Pueblo Nuevo, Estelí, Murra, Susucayán y Solonlí o Jalapa, Poteca y Wamblán, Bocay, Lakus, Umbra, Sang Sang, y Waspuk (MARENA, 2010).

3.1 CLIMA

El municipio de San Lucas se caracteriza por tener un clima de sabana tropical de altura, pero tornándose húmedo en las partes elevadas y montañosas, como la reserva natural del cañón de Somoto por donde el río Tapacalí se junta con el río Inalí para formar el Río Coco. El municipio presenta un rango de temperatura de 23,0°C a 28,0°C. Presentándose las temperaturas más elevadas en los meses de febrero a julio y las más frescas de agosto a enero (Alcaldía de San Lucas, 2012).

La subcuenca del Río Tapacalí presenta precipitaciones menores a los 800 mm, siendo la más baja de toda la cuenca del río Coco (MARENA, 2010).

3.2 SUELOS

Según MARENA (2010): “En la región se encuentran cuatro tipos de suelos, los suelos del tipo entinsoles, son los que predominan en Madriz, seguido de los molisoles y en menor medida los inceptisoles y los alfisoles”.

Los suelos entinsoles son suelos desarrollados sobre material parental no consolidado que en general no presenta horizontes genéticos, este tipo de suelo se forma por varias razones, una de ellas es la abundancia de cuarzo u otros minerales primarios de muy difícil alteración (Gisbert, Ibáñez Asensio & Moreno, s.f.).

Los suelos molisoles son suelos negros de los ecosistemas de pastizales, cuyo horizonte superficial es muy fértil, por la incorporación de la materia orgánica.

3.2.1 Usos del Suelo

Actualmente el suelo de la subcuenca está principalmente cubierto por maleza, pastos con árboles y vegetación arbustiva. Pero con el paso de los años los habitantes han observado como muchas de las áreas han sido deforestadas para el uso de la madera y la incorporación de los terrenos a zonas ganaderas (MARENA, 2010).

Los suelos entinsoles son recomendables para la reforestación o regeneración natural. Por otra parte los molisoles son aptos para cultivos de granos (MARENA, 2010).

3.3 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

El municipio de San Lucas la actividad económica que predomina es la agricultura de granos básicos. En este municipio un total de 42 hogares presentan actividad económica, dentro de los cuales destaca el comercio al por menor, el vestuario y los servicios comunitarios. El 74,2% de la población vive en pobreza alta o severa; y menos del 2% presenta un nivel de pobreza baja (INIDE, 2008).

3.4 DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL

Según datos del Censo (2005), la población del municipio de San Lucas presenta un total de 12 975 personas, divididas en cuatro barrios y seis comarcas. De las cuales 11 701 personas viven en las zonas rurales del municipio, lo que representa el 90,18% de la población.

La Micro Región I, cuenta con seis comunidades, las cuales son El Espino (311), *La Playa* (1 175), *El Tablón* (180), Guilliquime (146), *Aguas Calientes* (31) y Miquilse (312), con un total de 2 155 habitantes, lo que representa un 18,41 % de la población rural del municipio.

3.5 ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA POBLACIONES, SERVICIOS HIGIÉNICOS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

Existen un total de 2 586 viviendas en el municipio de San Lucas, la mayoría de estas viviendas se encuentran en las zonas rurales del municipio. San Lucas alberga el 88,05% de las viviendas en la zona rural (INIDE, 2008).

En la Micro Región I están ubicadas un total de 459 viviendas, lo que representa un 20,16% del total de las viviendas rurales del municipio.

El suministro de agua es deficiente, la empresa encargada del suministro de agua potable es ENACAL, ésta se concentra principalmente en el abastecimiento de las cabeceras departamentales, es por eso que en los municipios el suministro puede ser menor al 50% y mayoritariamente se hace por medio de pozos (agua subterránea). En las Tabla 3.1 y 3.2 se detallan algunos indicadores que influyen en la contaminación y deterioro de las fuentes hídricas.

Tabla 3.1 Suministro de Agua.

Municipio	Sin Servicio de Agua Potable	
	Barrio	Comarca
San Lucas	37,5%	87,0%
Comarca	Sin Servicio de Agua Potable	
Micro Región I	86,3%	

Fuente: INIDE, 2008.

Tabla 3.2 Indicadores de Influencia Negativa.

Municipio /Comarca	Hogares de Comarcas	Porcentaje de Hogares	Sin Servicio Sanitario	Cocinan con Leña	Sin Servicio de Recolección de Basura
San Lucas	2 141	88,8%	19,9%	98,2%	100%
Micro Región I	422	19,7%	18,7%	95,0%	100%

Fuente: INIDE, 2008.

3.6 DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO E INDUSTRIA

La principal actividad económica de la subcuenca es la agricultura, con los cultivos de granos básicos, maíz, sorgo, frijol; y ganadería que es utilizada para la producción de carne y leche para el consumo básico local y explotación de madera.

San Lucas cuenta con una cobertura de energía eléctrica del 52,5%, y se encuentra conectado al sistema nacional.

3.7 CALIDAD DEL AGUA

3.7.1 Fuentes de Contaminación

Las fuentes de agua de la comunidad de San Lucas se encuentran expuestas a mucha contaminación a lo largo de su recorrido por las comunidades, comarcas y barrios, no es de extrañar que las subcuencas estén contaminadas y sean los medios de transporte de los contaminantes.

Las fuentes de contaminación son tanto puntuales como difusas, la mayoría de estas fuentes provienen de actividades antropogénicas. Debido a que las comunidades no cuentan con servicio de tratamiento de agua, ni de recolección de desechos; los pobladores tienden a descargar todos estos contaminantes a orillas de cuerpos de agua superficiales, agregándole una gran carga orgánica a la fuente de agua.

La mayor parte de la población rural se abastece de agua de pozos someros excavados a orillas del río, donde igualmente agua el ganado y se bañan, lo que contribuye a la contaminación bacteriana.

Actividades como la agricultura, con el uso extensivo de plaguicidas órgano clorados y fosforados, son una fuente difusa de contaminación. Un caso en concreto, es la contaminación causada por la descarga de aguas mieles y cascaras de los beneficios cafetaleros.

4. METODOLOGÍA

En esta capítulo se aborda la metodología que fue aplicada en la realización del presente estudio. También se define el tipo de investigación y el universo en estudio.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En función al nivel de profundidad con que se aborda el diseño y evaluación tecnológica de la calidad del agua en tres comunidades de San Lucas, se define este trabajo como una investigación descriptiva exploratoria.

La investigación se desarrolla usando una base de datos de calidad de agua determinada en las comunidades de El Tablón, La Playa y Aguas Caliente en la Micro Región 1 del municipio de San Lucas, departamento de Madriz efectuada por Palacios, (2013); donde se midieron in situ: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (mg/L) y oxígeno disuelto (mg/L). También se efectuaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos, los cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Química.

Los datos de calidad sirvieron de base para realizar el diagnóstico del estado de las fuentes de agua, la clasificación de los recursos hídricos, el índice de calidad de agua y la propuesta de tratamiento; aspectos que no fueron abordados por Palacios (2014).

4.2 UNIVERSO

Como universo de estudio se ha delimitado la comarca conocida como Micro Región I del municipio San Lucas que tiene una extensión territorial de 47 Km^2 , se encuentra a 226 Km de la capital (Managua), está ubicado en las coordenadas $13^{\circ}25'$ de latitud norte y $86^{\circ}36'$ de longitud oeste (Figura 4.1).

La Micro Región está ubicada en el sector sudoeste del departamento de Madriz. Tiene como límites: al norte el municipio de Somoto (Madriz); al sur el municipio de Las Sabanas (Madriz); al este la Micro Región II y VI (San Lucas, Madriz) y al oeste el municipio de San Marcos de Colon (Honduras).

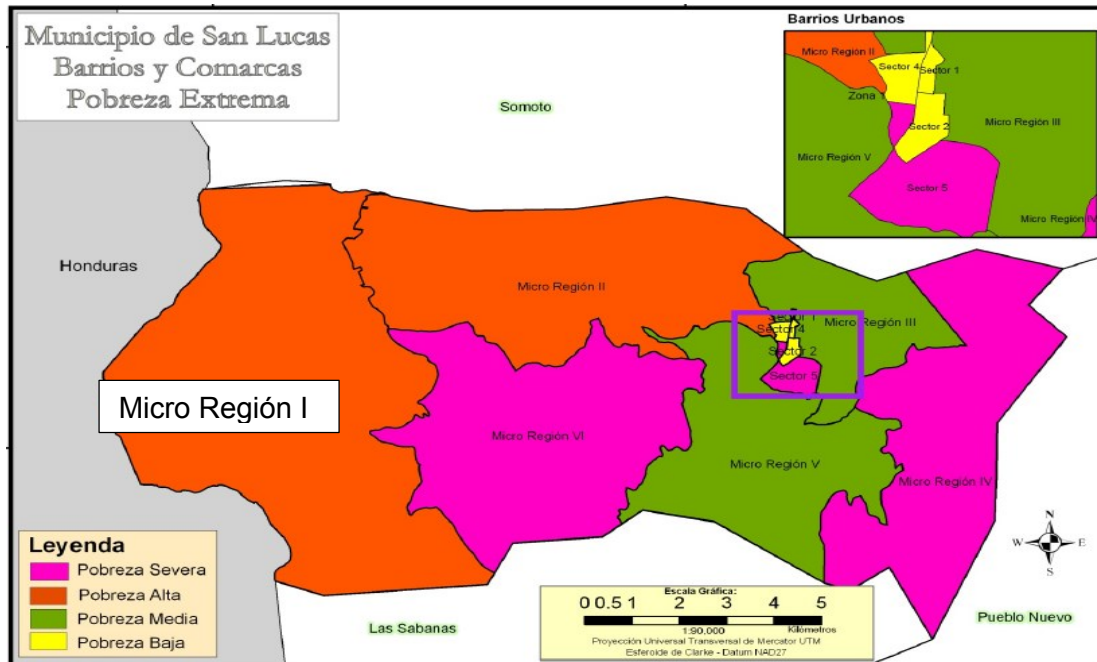


Figura 4.1 Universo de Estudio, Micro Región I del Municipio de San Lucas

Fuente: INIDE, 2008.

4.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Se seleccionaron seis fuentes hídricas pertenecientes a las tres comunidades (El Tablón, La Playa y Aguas Caliente) de la Micro Región I del municipio de San Lucas porque ya se tenía la base de datos de la calidad de dichas fuentes realizadas por Palacios, (2013). En dicho puntos, Palacios, (2013) expresa que las muestras de agua se recolectaron siguiendo los procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2013 (Anexo D) y el Manual HACH DR 5000 (2005).

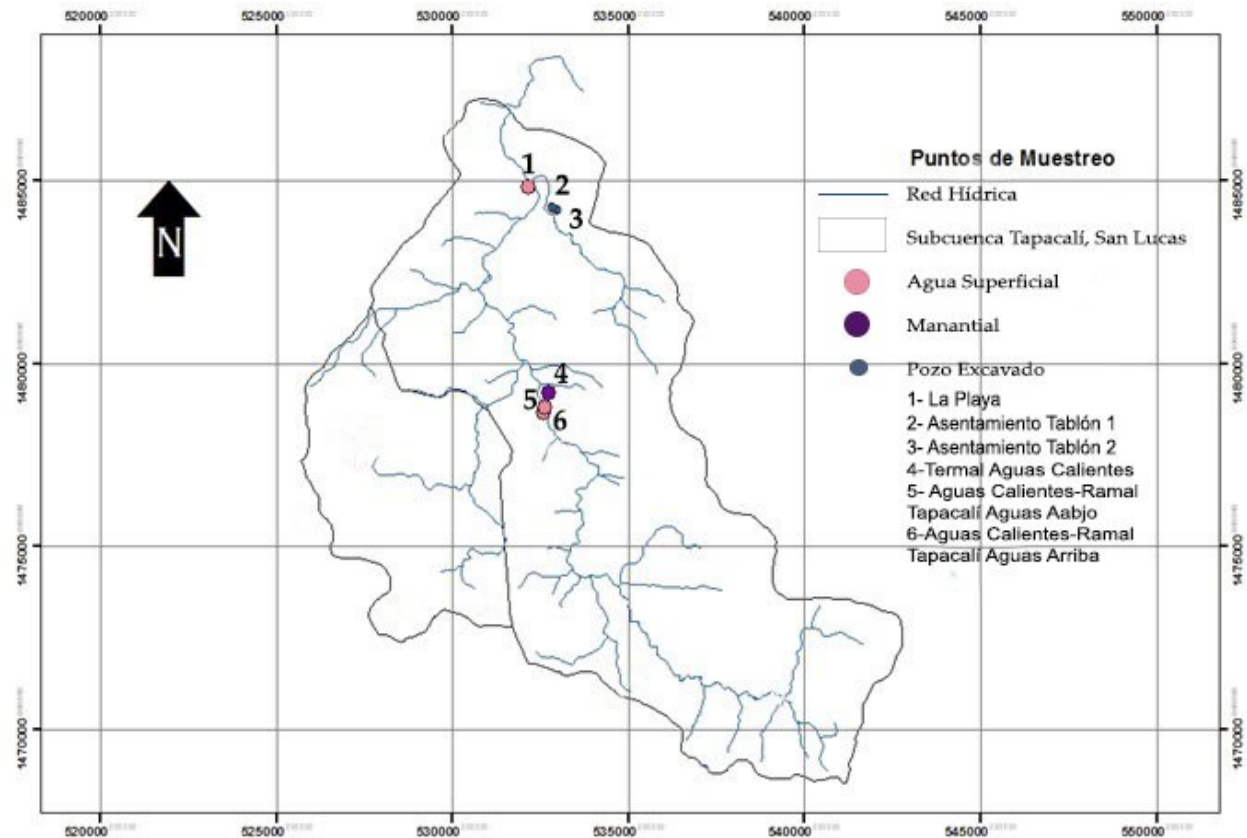


Figura 4.2 Ubicación de los Puntos de Muestreo.

Tabla 4.1 Puntos de Muestreo.

Municipio	Nombre del Sitio	Coordenadas		Tipo de Fuente
		X	Y	
San Lucas	Aguas Calientes-Ramal Tapacalí-Aguas Arriba	532599	1478660	Agua Superficial (AS)
	Aguas Calientes-Ramal Tapacalí-Aguas Abajo	532631	1478786	Agua Superficial (AS)
	Termal Aguas Calientes	532575	1479640	Manantial (Mn)
	La Playa	532160	1484823	Agua Superficial (AS)
	Asentamiento Tablón 1	532991	1484214	Pozo Excavado (PE)
	Asentamiento Tablón 2	532837	1484295	Pozo Excavado (PE)

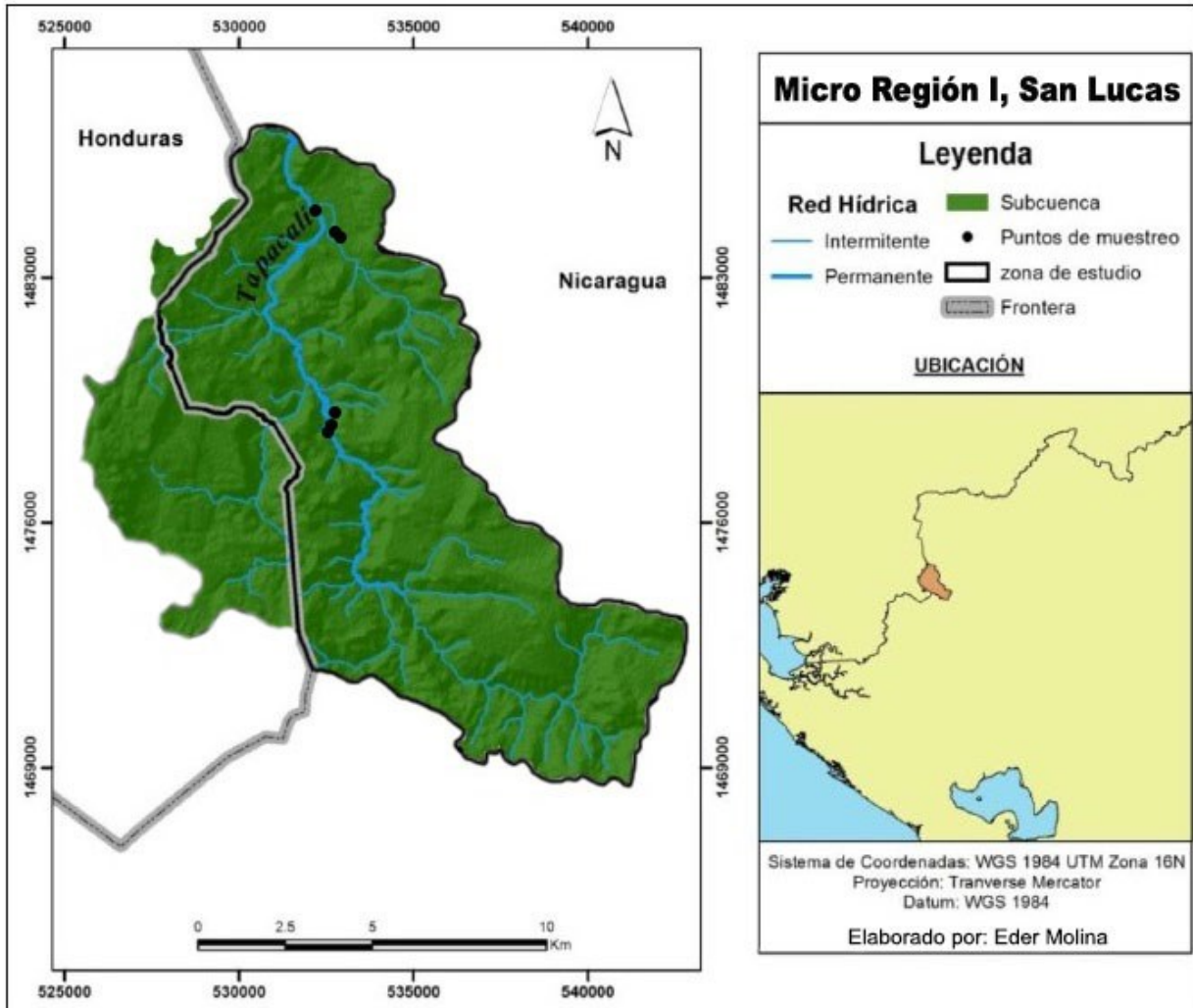


Figura 4.3 Mapa Hídrico, Micro Región I del Municipio de San Lucas.

4.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA

Palacios, (2013) midió un total de 24 parámetros, 18 de ellos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la FIQ, los restantes 6 parámetros (físicos) fueron determinados in situ.

En la Tabla 4.2 se detalla el lugar de medición y el método utilizado para el análisis de cada parámetro a ser tomado en cuenta, para determinar la calidad del agua en la comunidad de San Lucas.

Tabla 4.2 Metodología de Análisis.

Parámetro	Lugar de Medición	Método
Temperatura	In situ	Termómetro
pH	In situ	Potenciometría, pH metro
Turbiedad	In situ	Turbidimetría, HACH 2010P
Conductividad Eléctrica	In situ	Electrometría, Conductivímetro Orión
Sólidos Totales Disueltos	In situ	Electrometría, Conductivímetro Orión
Oxígeno Disuelto	In situ	Electrometría, Oxigenómetro
Color Verdadero	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8025
Dureza Total	Laboratorio	Método de Titulación EDTA, SM 2340C
Calcio (Ca^{2+})	Laboratorio	Método de Titulación EDTA, SM 3500-Ca B
Magnesio (Mg^{2+})	Laboratorio	Método Calculado SM 3500-Mg B
Alcalinidad	Laboratorio	Método de Titulación, SM 2320 B
Nitratos (NO_3^-)	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8171
Nitritos (NO_2^-)	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8507
Amonio (NH_4)	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8038
Sulfatos (SO_4^{2-})	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8051
Hierro Total	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8008
Manganeso (Mn^{2+})	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8034
Aluminio (Al^{3+})	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8012
Plomo (Pb)	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8012
Fluoruro (F^-)	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8029
Cloruros (Cl^-)	Laboratorio	Espectrometría, Método Argentométrico, SM 4500-Cl-B
Arsénico ($\text{As}^{3+}, \text{As}^{5+}$)	Laboratorio	Absorción Atómica
Fósforo Total	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8190 Test Vial
Coliformes Fecales	Laboratorio	Filtración por Tubo Múltiple

4.5 CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Las fuentes se clasificaron haciendo uso de la NTON 05-07-98, esta norma Nicaragüense clasifica los recursos hídricos con base en los usos para los cuales el agua será destinada, en esta clasificación se puede encontrar seis tipos de aguas, los rangos para la determinación del tipo de recurso hídrico se detallan en las tablas del Anexo A.

Así mismo los tipos de agua 1, 2 y 4 se subdividen en “a y b”, esto permite una selección más específica de estos tres tipos de recursos hídricos, los cuales están directamente en contacto con los consumidores.

Tabla 4.3 Clasificación de los Recursos Hídricos.

Tipo	Uso
1	Aguas destinados al uso doméstico e industrial que requiera agua potable, siempre que esta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.
1a	<i>Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adicción de desinfectantes.</i>
1b	<i>Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración.</i>
2	Aguas destinadas a usos agropecuarios
2a	<i>Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.</i>
2b	<i>Aguas destinadas para riego de cualquier otro tipo de cultivo y uso pecuario.</i>
3	Aguas marinas o medios costeros destinados a la cría y explotación de moluscos para consumo humano
4	Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia
4a	<i>Aguas para el contacto humano total.</i>
4b	<i>Aguas para el contacto humano parcial.</i>
5	Aguas destinadas para uso industrial que no requiere agua potable
6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía

Fuente: NTON 05 007-98.

4.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

El ICA es un número adimensional, comprendido entre 1-100, donde a mayor valor mejor es la calidad del recurso, para facilitar la interpretación también se utilizan de cinco a seis colores en dependencia del uso que vaya a tener el recurso hídrico.

Torres, Hernán Cruz, & Patiño, (2009) mencionan que en términos simples un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las medidas de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua.

El objetivo de los ICA es la evaluación de la calidad del agua para consumo humano previo tratamiento, incluyendo dentro de su estructura parámetros fisicoquímicos, microbiológicos directamente relacionados con el nivel de riesgo sanitario presente en el agua (Torres, Hernán Cruz, & Patiño, 2009).

Para medir la calidad del agua de las aguas superficiales en Madriz se utilizó una adaptación del ICA-Dinius, que fue desarrollado en Estados Unidos, el cual es empleado en América Latina y se adapta perfectamente con la NTON 05-007-98 ya que ambas toman en cuenta el Abastecimiento Público, Recreación, Pesca, Actividades de Recreación, Uso Industrial y Agrícola, facilitando la interpretación de los contaminantes muestreados.

La ecuación a emplear para la determinación de la calidad de agua fue la siguiente:

$$ICA = \left(\frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) \quad (4.1)$$

Dónde:

I_i es la función del subíndice

W_i es el peso relativo asignado a cada parámetro

n es el número de parámetros evaluados

En la Tabla 4.4 se aprecian la clasificación del ICA en función de su uso y en la Tabla 4.5 están las fórmulas de la función del subíndice y los pesos relativos de cada parámetro.

Tabla 4.4 Escala de Clasificación del Índice de Calidad de Agua en Función del Uso.

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación
95					
90					
85					
80	Aceptable	Ligera Purificación			Ligera purificación para algunos procesos
75					
70					
65	Poco contaminado	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Aceptable excepto para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal
60					
55					
50					
45	Contaminado	Dudoso	Dudoso para el contacto directo	Solo organismos resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
40					
35					
30	Altamente Contaminado	No Aceptable	Sin contacto con el agua	No aceptable	No aceptable
25					
20					
15					
10					
5					
0					

Fuente: Dinius, 1987.

Tabla 4.5 Fórmulas para el Cálculo de la Función Subíndices y Pesos Relativos.

Parametro	Función del Subíndice (I)	Peso Relativo
Coliformes Fecales	$I_{Colif} = 106(CF)^{-0,1286}$ Ec. 4.2	11,6
OD % Sat	$I_{OD} = 0,82(OD) + 10,56$ Ec. 4.3	10,9
DBO ₅	$I_{DBO5} = 108(DBO_5)^{-0,3494}$ Ec. 4.4	9,7
Coliformes Totales	$I_{ColiT} = 136(CT)^{-0,1311}$ Ec. 4.5	9,0
Nitratos	$I_{NO3} = 125(NO_3)^{-0,2713}$ Ec. 4.6	9,0
Conductividad	$I_{Cond} = 506(Cond)^{-0,3315}$ Ec. 4.7	7,9
Temperatura	$I_{Temp} = 10^{2,004 - 0,0382\Delta T}$ Ec. 4.8	7,7
pH	Si $pH < 6,9$ $I_{pH} = 10^{0,6903 + 0,1856(pH)}$ Ec. 4.9a	7,7
	Si $6,9 \leq pH \leq 7,1$ $I_{pH} = 100$ Ec. 4.9b	
	Si $pH > 7,1$ $I_{pH} = 10^{3,65 - 0,2216(pH)}$ Ec. 4.9c	
Cloruros	$I_{Cl} = 391(Cl)^{-0,3483}$ Ec. 4.10	7,4
Dureza	$I_{Dur} = 552(Dur)^{-0,4488}$ Ec. 4.11	6,5
Alcalinidad	$I_{Alc} = 110(Alc)^{-0,1342}$ Ec. 4.12	6,3
Color	$I_{Color} = 127(Color)^{-0,2394}$ Ec. 4.13	6,3

Fuente: *Dinius, 1987.*

4.7 POTABILIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA

Los resultados de Palacios (2013) se comparan con la NTO 05-007-98 para aguas tipo 1 y la norma regional CAPRE, ambas normas se detallan en los Anexos A y B respectivamente.

Para que cualquiera de las fuentes sea considerada como potable sus parámetros tienen que cumplir los valores de los parámetros establecidos por ambas normas, caso contrario se tiene que seleccionar un sistema de tratamiento de agua que sea acorde a las necesidades de la fuente y las capacidades de la comunidad.

4.8 DISEÑO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

4.8.1 Selección de las Unidades de Tratamiento

Las unidades de tratamiento se diseñaron siguiendo la metodología de (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005), discutida en el Capítulo 2, Tabla 4.6 y Figura 4.4.

Tabla 4.6 Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FiME.

<div> <div>Turbiedad (NTU)</div> <div>Color Real (UC)</div> <div>Coliformes Fecales (UFC/100)</div> </div>	< 10,0	10,0 – 20,0	20,0 – 50,0	50,0 – 70,0 *	
	< 20,0	20,0 – 30,0	30,0 – 40,0	30,0 – 40,0 *	
< 500,0	Sin FGA	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}	Bajo
500,0 - 10 000	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}	Medio
10 000 - 20 000 (*)	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}	Alto

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

*Para valores superiores a 70,0 NTU; 20 000 UFC/100 mL o 40,0 UC, se recomienda estudio de planta piloto. FGAS3: Filtro Grueso Ascendente en Serie (3 Etapas); FGH3: Filtro Grueso Horizontal (3 Etapas); FGAC: Filtro Grueso Ascendente en capas. Todas las opciones incluyen un FGD_{2,0} y FLA_{0,15} (el subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h).

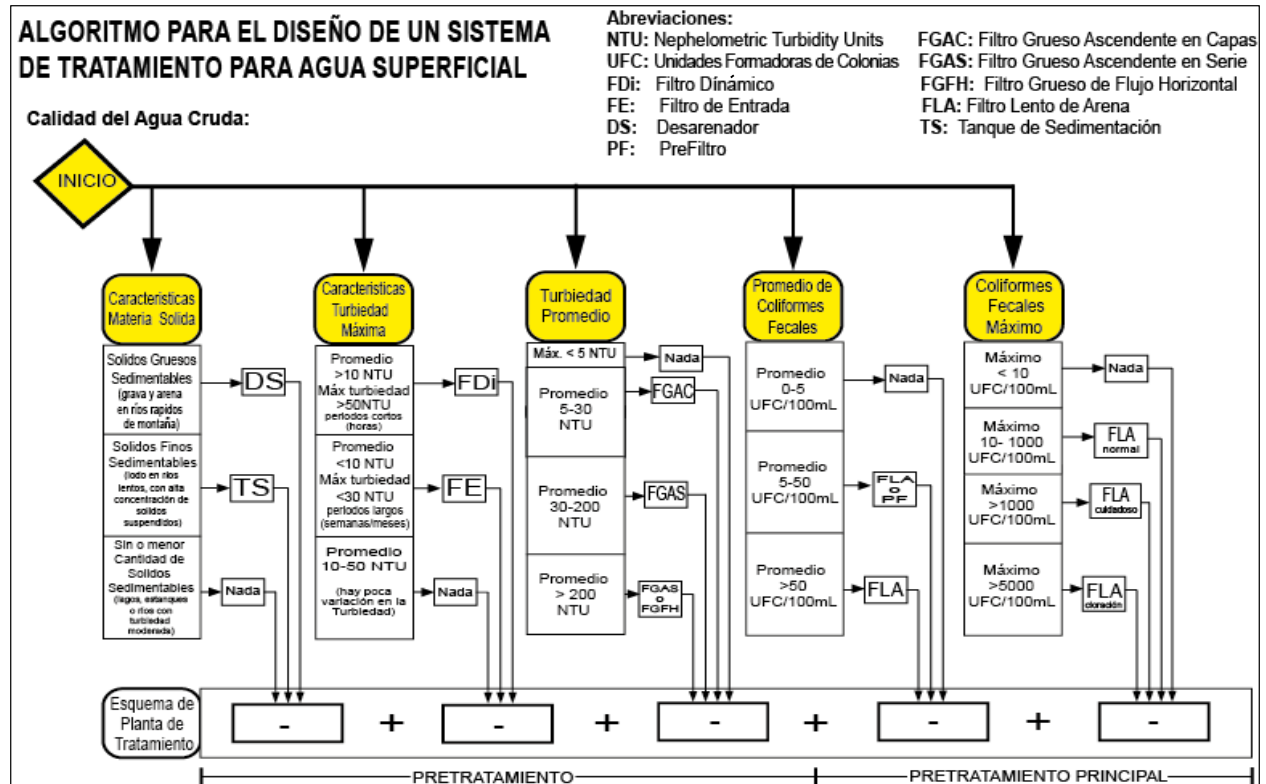


Figura 4.4 Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Superficial.

Fuente: (Wegelin, 1996).

La selección del tratamiento estuvo en dependencia de los siguientes parámetros: Turbiedad, Color y Coliformes Fecales. La Tabla 4.6 propone Filtro Dinámico y Filtro Lento con la misma velocidad de filtración, el Filtro Grueso varía en dependencia del nivel de contaminación entre mayor sea la contaminación existe una mayor necesidad de filtros y una menor velocidad.

Por su parte el algoritmo de la Figura 4.4 propone una mayor cantidad de equipos, rangos de operación y combinaciones posibles con base en los mismos tres parámetros.

Una vez seleccionado el tren de tratamiento se realizó el dimensionamiento de las unidades.

4.8.2 Dimensionamiento de los Equipos (NTON 09 003-99)

Aireador

Los aireadores son equipos sencillos que permiten la remoción de compuestos volátiles del agua por medio de contacto con el aire, existen distintos tipos de aireadores y en dependencia del tipo las características y capacidad de remoción de ciertos parámetros aumenta o decrece, en el capítulo 2 se aprecian los criterios de diseño y capacidad de remoción para los aireadores de bandeja (Tabla 2.4, 2.5 y 2.6), este equipo se seleccionó debido a su sencillez de operación y bajos costo de operación y utilidad en el tratamiento de las aguas subterráneas (Figura 4.5).

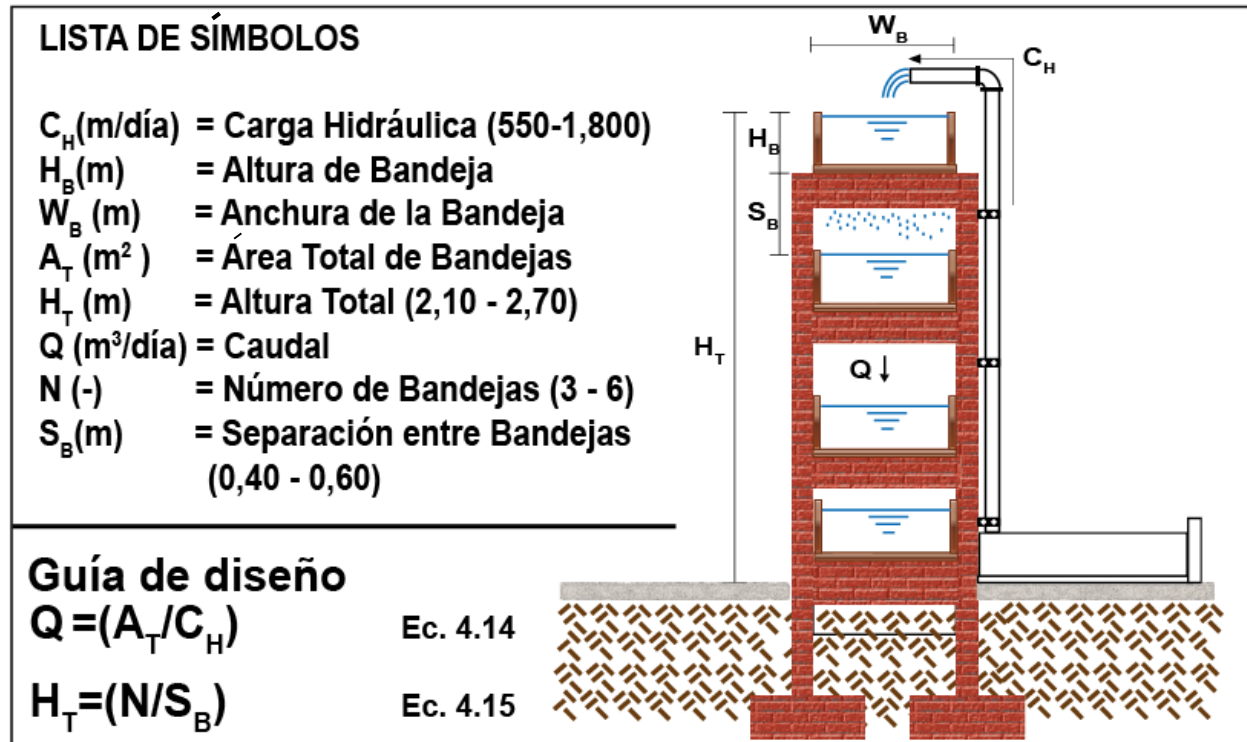


Figura 4.5 Dimensionamiento del Aireador por Bandejas.

Fuente: Adaptado de NTON 03 009-39.

Filtración Dinámica y Gruesa

La filtración dinámica y gruesa son procesos de pretratamiento simple que permiten cuidar las unidades de tratamiento principal, uno de sus principales objetivos es disminuir parámetros como color y turbiedad, generalmente son la primera barrera que se utiliza en los proceso de potabilización FIME.

El primer paso para el dimensionamiento de los equipos es conocer el caudal con el que se trabajará, seguidamente hay que seleccionar o establecer una relación entre largo y ancho con respecto al rango de velocidades de filtración. El grueso de las partículas y tamaño de los lechos filtrantes se seleccionan con base en el grado de

contaminación del agua, entre más contaminada se encuentre la fuente se necesita un diámetro de partícula menor, un lecho filtrante mayor y una velocidad de filtración menor, este criterio también aplica para el diseño del filtro lento de arena (Figuras 4.6 y 4.7).

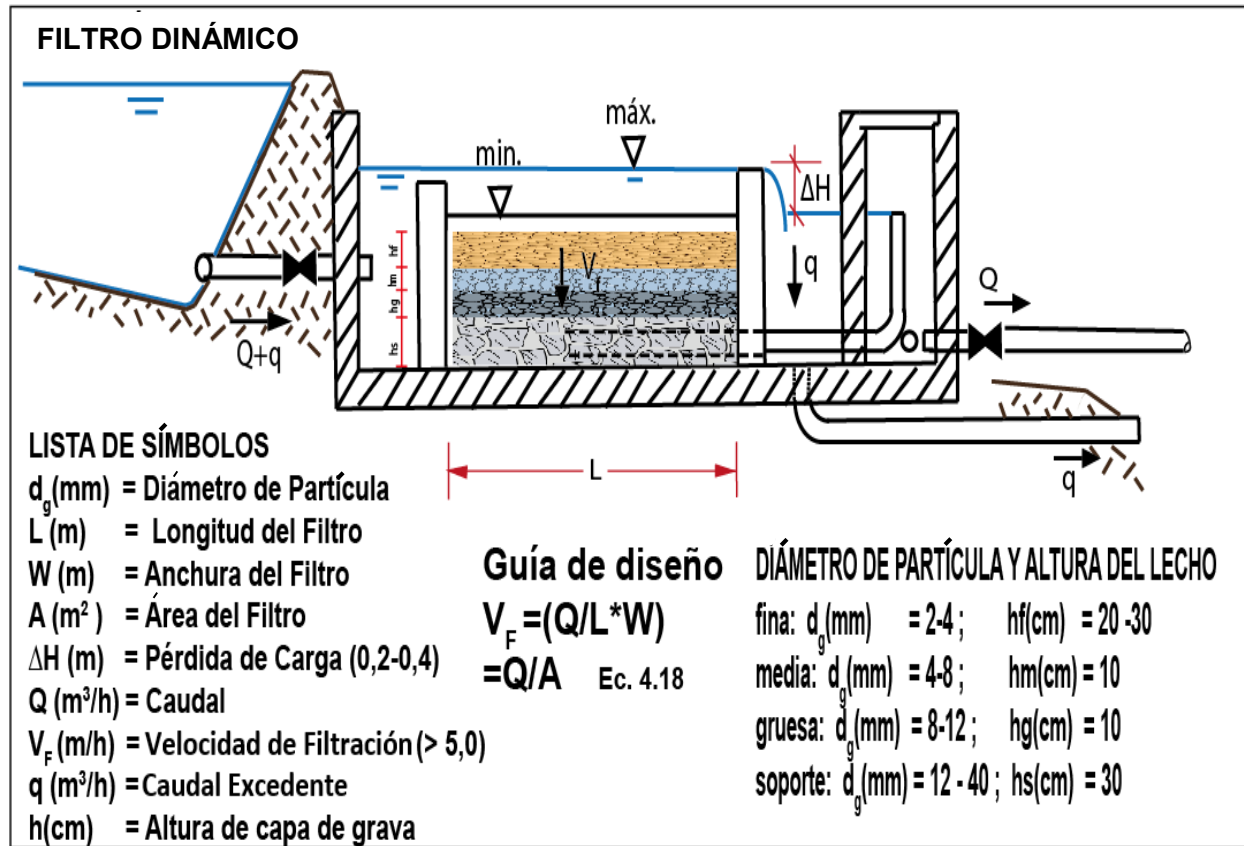


Figura 4.6 Dimensionamiento del Filtro Dinámico.

Fuente: Adaptado de Wegelin, 1998; OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

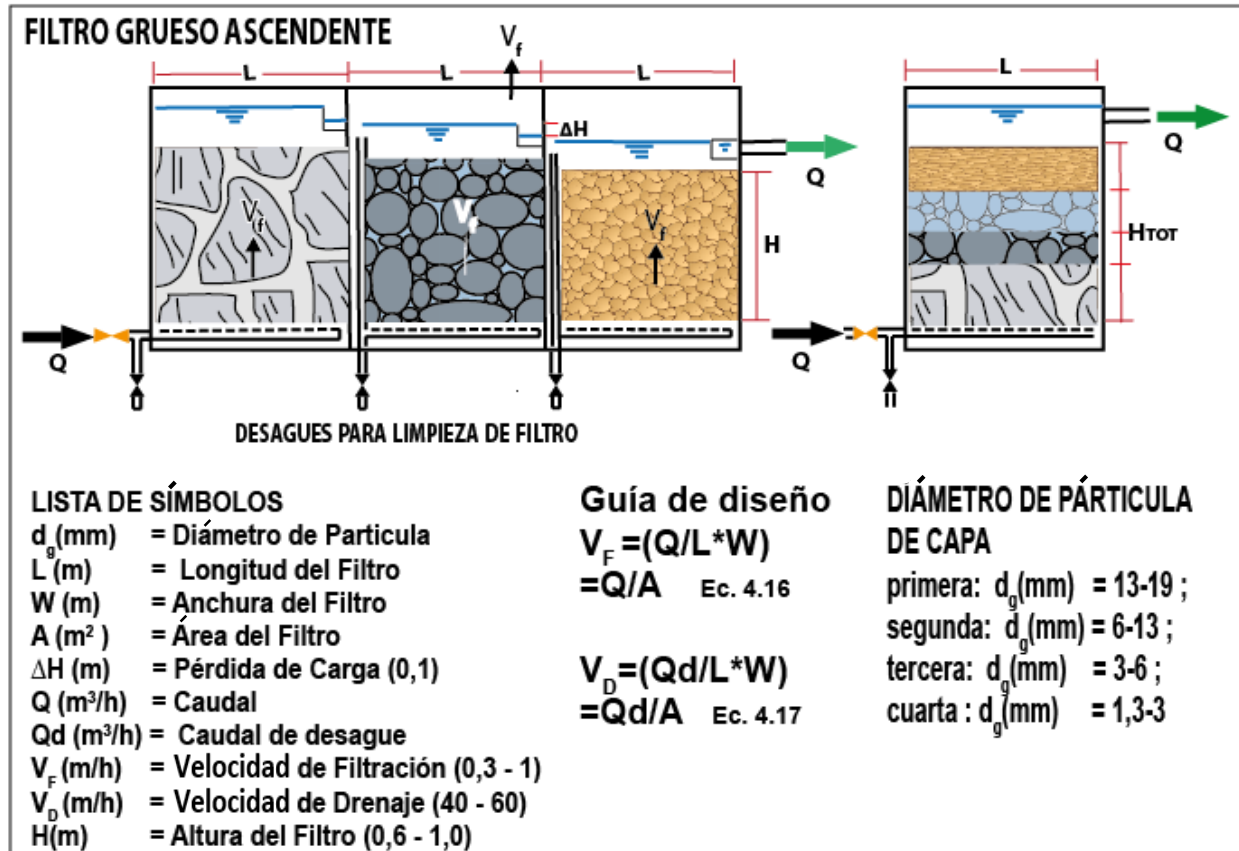


Figura 4.7 Dimensionamiento del Filtro Grueso Ascendente en Capas y en Serie.

Fuente: Adaptado de Wegelin, 1998 ; OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Filtración Lenta

La filtración lenta es un proceso de tratamiento del agua, que consiste en hacerla pasar por un lecho de arena en forma ascendente o descendente y a muy baja velocidad, siendo sus principales ventajas:

- No hay que utilizar productos químicos (excepto cloro para desinfección)
- Sencillez del diseño, construcción y operación
- No requiere energía eléctrica
- Facilidad de limpieza (no requiere retrolavado)

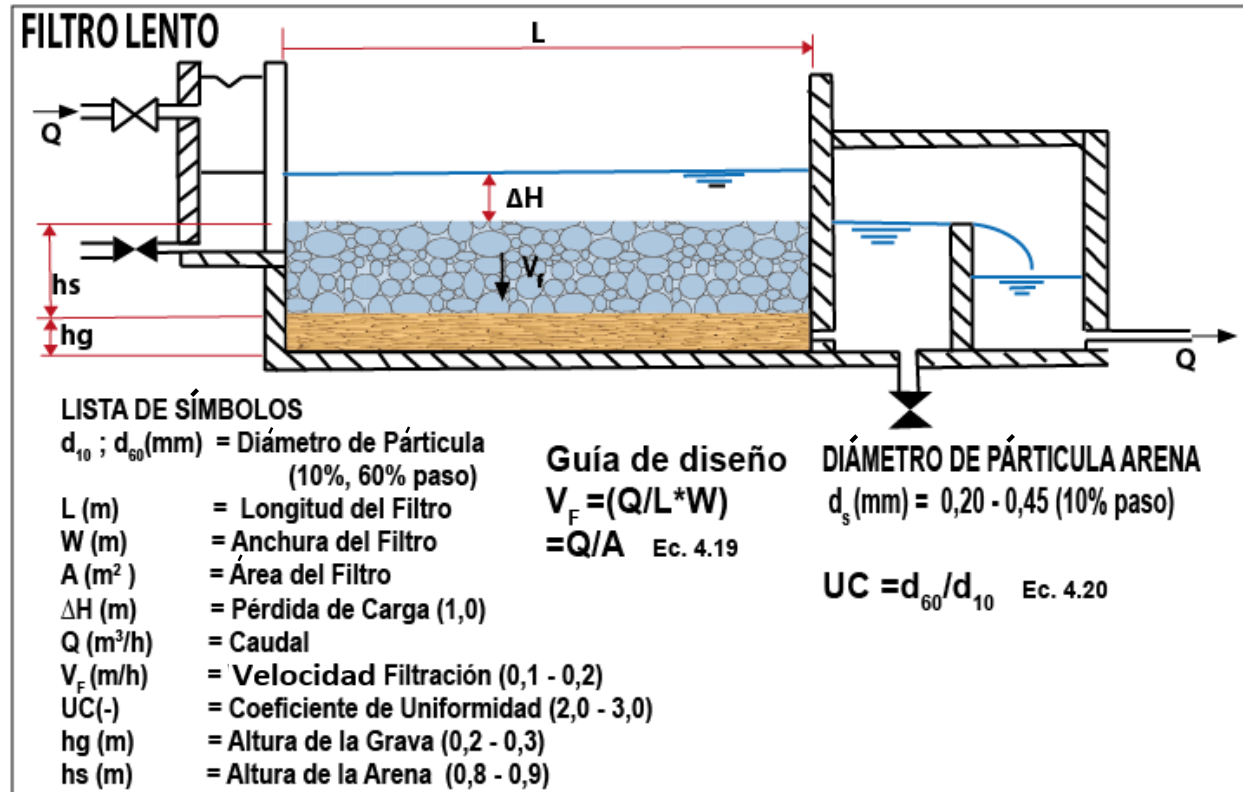


Figura 4.8 Dimensionamiento de Filtro Lento.

Fuente: Adaptado de Wegelin, 1998 ; OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

4.9 Análisis de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la incapacidad o resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre.

Nicaragua es uno de los países más vulnerables de América Latina, debido a su: ubicación geográfica; condiciones de pobreza; baja productividad; edad y salud de las personas; falta de condiciones higiénicas; alta dependencia económica de la producción agrícola y recursos naturales; carencia de infraestructuras y deterioro ambiental.

Además de la vulnerabilidad intrínseca del país, las acciones humanas pueden aumentar considerablemente la vulnerabilidad frente a las amenazas. Una de las acciones más comunes, que aumentan significativamente la vulnerabilidad dentro del municipio de Madriz es; la deforestación, la cual provoca deslizamientos o derrumbes, inundaciones y avalanchas.

Wilches-Chaux (1993) Citado por INAA & COSUDE (2011) consideran que la vulnerabilidad constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que

convergen en una comunidad o área en particular. A esta interacción se le conoce como vulnerabilidad global y esta puede dividirse entre sí en: vulnerabilidad económica; vulnerabilidad física y vulnerabilidad social y ambiental.

En vista de que los sistemas de tratamiento para las comunidades no poseen una ubicación específica y actualmente no existen; es imposible evaluar la vulnerabilidad física de los componentes individuales de la planta de tratamiento, así que solamente se evaluarán las vulnerabilidades económicas y vulnerabilidades sociales-ambientales, mediante el uso de matrices de vulnerabilidad (Anexo H).

5. RESULTADOS

A continuación se presenta la caracterización física, química y bacteriológica de los seis puntos muestreados, perteneciente a las tres comunidades de la Micro Región I del municipio de San Lucas, Matriz.

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA

5.1.1 Características Físicas

Las características físicas del agua, son todos aquellos rasgos o elementos fácilmente detectables en el agua por medio de los sentidos; para evaluar la calidad física se midieron seis parámetros: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, color verdadero y turbiedad.

Las muestras provienen de aguas superficiales, pozos excavados y manantiales (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Valores de Parámetros Físicos en Micro Región I.

	Nombre del Sitio	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (NTU)
Aguas Caliente	Termal Aguas Caliente	29,5	5,9	276,9	136,4	11,3	4,6
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba	29,5	6,9	177,0	87,3	90,5	26,5
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo	30,7	6,6	180,9	89,1	82,8	21,9
	Asentamiento Tablón 1	28,6	3,2	546,0	267,7	6,7	4,3
Los Tablones	Asentamiento Tablón 2	28,9	3,3	488,7	240,5	6,9	5,1
La Playa	La Playa	27,0	7,3	241,2	118,0	5,1	1,4

Temperatura (T)

La temperatura es uno de los factores a ser considerados cuando se desea diseñar una planta de tratamiento de agua, debido a que la temperatura afecta la eficiencia de las reacciones químicas y biológicas llevadas a cabo en los algunos procesos de tratamiento, además altas temperaturas potencian la proliferación de microorganismos

que pueden repercutir en problemas de olor, sabor y color. Este parámetro se ve afectado por condiciones climáticas y época en que fue realizada la medición.

La comunidad de Aguas Caliente presentó un rango de temperatura de 29,5 °C a 30,7 °C, tanto *Termal Aguas Caliente* como *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba* mostraron valores por debajo de valor recomendado, pero muy cercano a este, por otro lado *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo* es el único sitio en ambas zonas que posee una temperatura por encima de valor recomendado (Figura 5.1).

Por su parte la comunidad de Los Tablones exhibe valores menores que los registrados en Aguas Calientes, con un rango de temperatura de 28,6 °C registrado en el *Asentamiento Tablón 1*, hasta una temperatura 28,9 °C en el sitio de *Asentamiento Tablón 2*.

La comunidad de La Playa fue la que presentó la menor temperatura de las tres comunidades con un valor de 27,0 °C. A pesar de que la mayoría de los sitios muestreados presentan temperaturas dentro de la norma, los valores obtenidos son altos, los cuales pueden repercutir en la eficiencia de los procesos de potabilización.

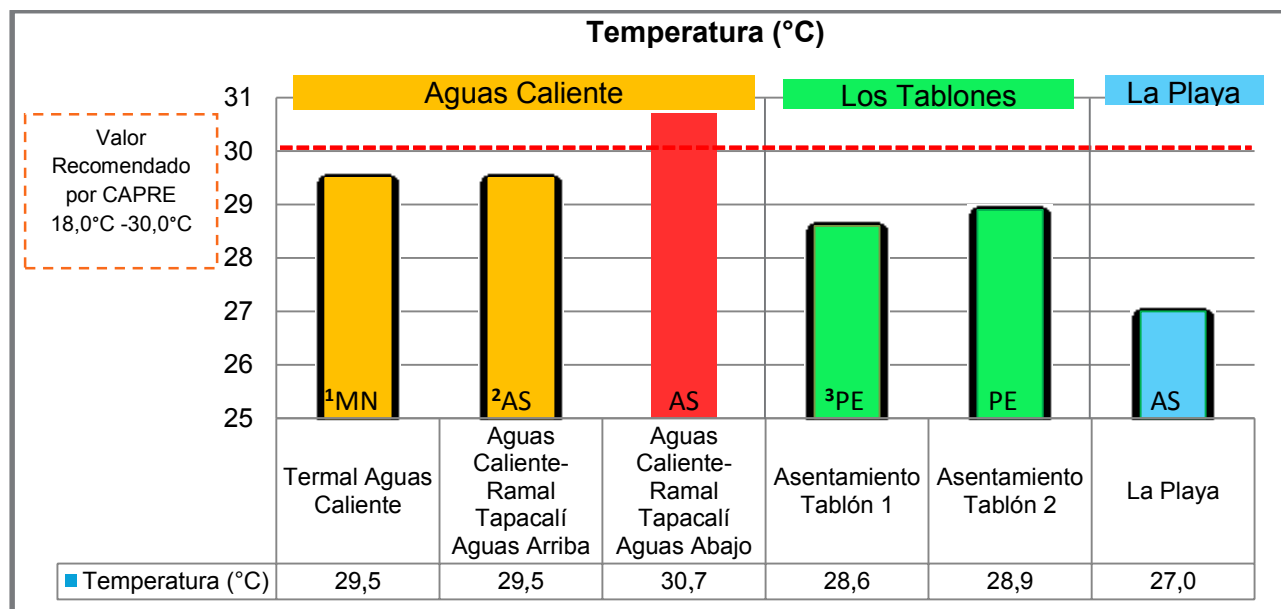


Figura 5.1 Valores de Temperatura.

¹MN: Manantial ²AS: Agua Superficial ³PE: Pozo Excavado

Oxígeno Disuelto (OD)

La importancia del oxígeno disuelto radica en que es un constituyente esencial para mantener la vida en los ecosistemas acuáticos, debido a la dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. El oxígeno es esencial para el proceso de la fotosíntesis, solubilidad de minerales, y descomposición de la materia orgánica.

La cantidad de oxígeno presente en el agua es afectada por: la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica. El aumento en la temperatura del agua trae como consecuencia una disminución en los niveles de oxígeno; asimismo el incremento de algunas sales disueltas disminuyen los espacios intermoleculares disponibles para la disolución del oxígeno; de igual forma la solubilidad de un gas es determinada por su presión parcial y la presión por la altitud, así que a mayor altitud las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyen.

Las fuentes de la comunidad Aguas Calientes presentaron concentraciones de oxígeno disuelto que oscilan de 5,9 mg/L hasta 6,9 mg/L, todos los sitios de la comunidad muestra concentraciones inferiores a 8,0 mg/L, pero superiores a 4,0 mg/L, es decir que las concentraciones de oxígeno están por debajo del valor recomendado por la norma CAPRE, pero por encima del valor recomendado por la NTON 05 007 98 para las aguas de Categoría A, las cuales son aguas destinadas al uso doméstico e industrial.

La comunidad Los Tablones por su parte tiene rangos de concentración de oxígeno disuelto de 3,2 mg/L en el sitio de *Asentamiento Tablón 1* y 3,3 mg/L en *Asentamiento Tablón 2*, pero estas concentraciones son menores al valor de la NTON 05 007 98 Categoría A de 4,0 mg/L. Aunque es una concentración apta para conservar la vida y para propósitos de consumo humano, se puede mejorar significativamente la calidad del agua con un proceso de aireación.

La comunidad de *La Playa* por su parte registró una concentración de 7,3 mg/L el valor más elevado de los seis sitios, se puede apreciar que los sitios expuestos al ambiente (aguas superficiales), son los que presentan los mayores valores de oxígeno al estar expuestos a una aireación natural.

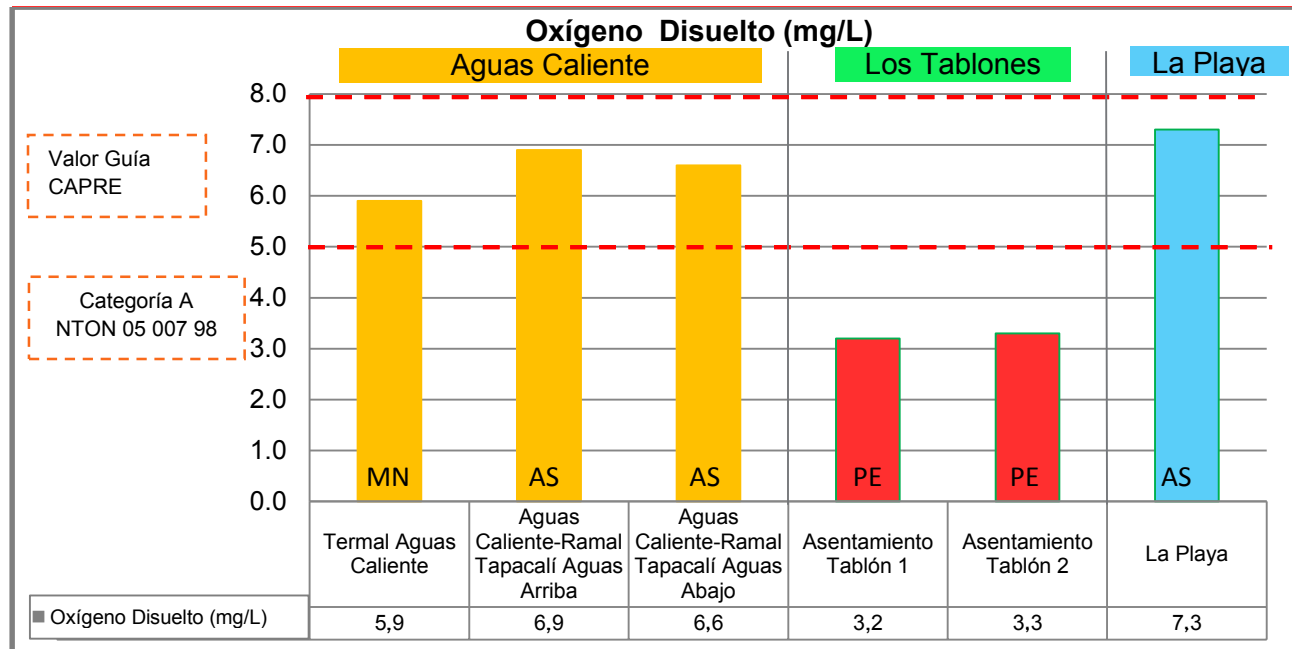


Figura 5.2 Concentraciones de Oxígeno Disuelto.

Conductividad Eléctrica (CE)

Es la capacidad del agua de conducir la electricidad, medida indirectamente por la concentración de los iones presentes en el agua, principalmente los cloruros, nitratos, sulfatos, fosfatos, sodio, magnesio y calcio. La conductividad está ligada al tipo de suelo que recorre la cuenca, ya que algunos tipos de suelos son ricos en iones.

Los valores de conductividad de la comunidad Aguas Calientes están por debajo del valor recomendado, los tres sitios presentan concentraciones inferiores a los 300,0 $\mu\text{S/cm}$, 100,0 $\mu\text{S/cm}$ por debajo del valor recomendado de 400,0 $\mu\text{S/cm}$ establecido por la norma CAPRE, los sitios *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba y Abajo* presentaron concentraciones similares de 177,0 $\mu\text{S/cm}$ y 180,9 $\mu\text{S/cm}$, siendo el *Termal Aguas Caliente* el sitio que presentó la concentración más elevada dentro de la comunidad con un valor de 276,9 $\mu\text{S/cm}$.

Caso contrario ocurrió en Los Tablones en donde los valores de conductividad de los sitios *Asentamiento Tablón 1 y 2* sobrepasan los 400,0 $\mu\text{S/cm}$ de la norma CAPRE. *El Asentamiento el Tablón 1* muestra la conductividad más alta registrada de 546,0 $\mu\text{S/cm}$, esto se debe a que los sitios conocidos como *Asentamiento Tablón 1 y 2* son pozos excavados, agua subterránea que está expuesta a la mineralización.

La Playa por su parte registró una conductividad de 241,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se aprecia una notable diferencia entre concentraciones de aguas superficiales y subterráneas, alcanzando estas últimas hasta el doble de concentración que las aguas superficiales en términos de conductividad eléctrica.

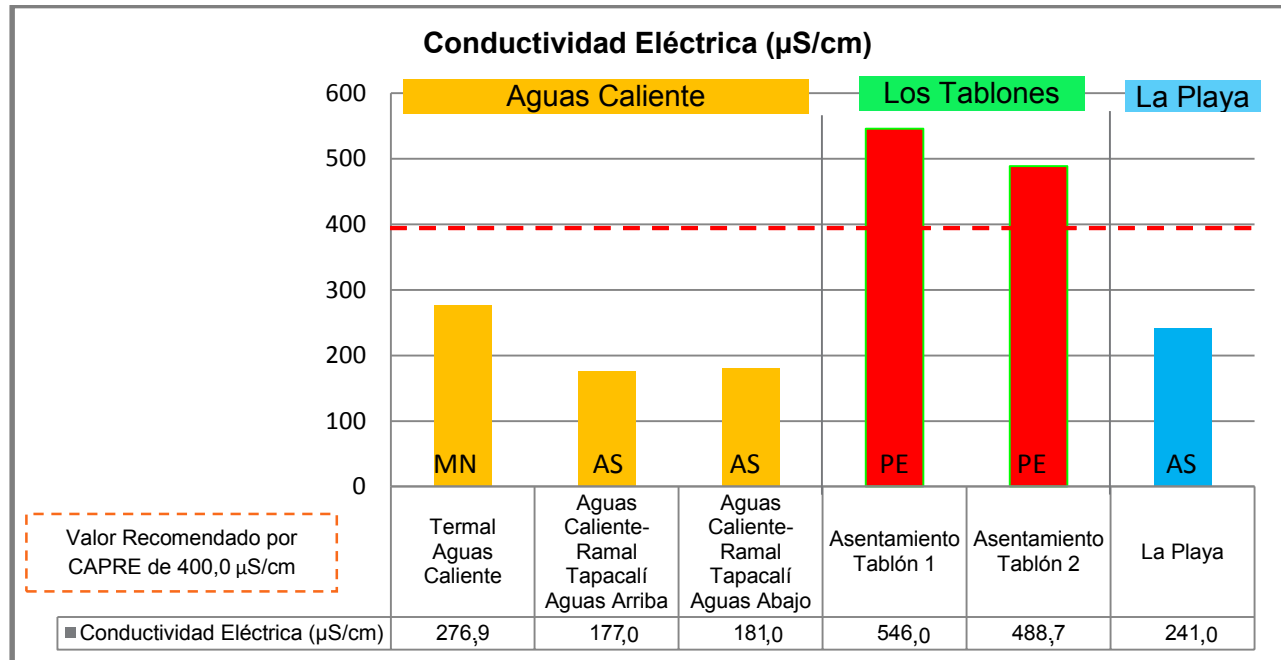


Figura 5.3 Valores de Conductividad Eléctrica.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Es una medida de la cantidad de materia suspendida o disuelta presente en el agua o medio acuoso. La determinación de este parámetro permite conocer la totalidad de residuos sólidos ya sean sales, metales, minerales o residuos orgánicos filtrables a través de una membrana con poros $\geq 2,0 \mu\text{m}$.

Aunque está clasificado como un contaminante secundario influye de manera significativa en la aceptación de los consumidores, esto se debe a que los Sólidos Totales Disueltos (STD) en grandes cantidades provocan una apariencia turbia en el agua y cambian el sabor de esta. De igual modo interfieren con la correcta operación de los equipos.

La comunidad Aguas Caliente presenta niveles de STD inferiores a los 150,0 mg/L, teniendo un rango de 87,3 mg/L a 136,4 mg/L. Por otro lado los sitios muestreados en la comunidad Los Tablones exhiben valores más altos que los registrados en la Aguas Calientes, siendo los *Asentamientos Tablón 1 y 2* los que registran valores más altos

de 267,7 mg/L y 240,5 mg/L respectivamente, asimismo se puede apreciar que la tendencia es similar a la que se registró con la Conductividad Eléctrica. La comunidad de *La Playa* no presentó un valor fuera de parámetros, al igual que los sitios previamente muestreados y analizados su valor está muy por debajo del valor máximo admisible (Figura 5.4).

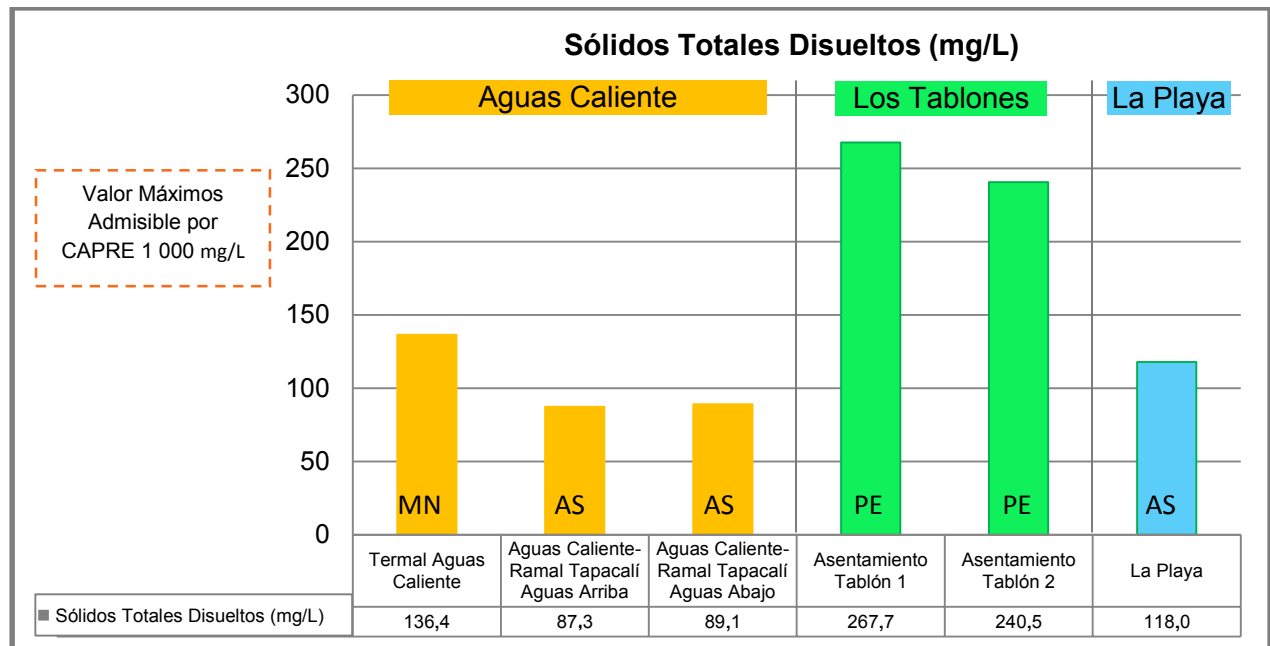


Figura 5.4 Concentraciones de Sólidos Totales Disueltos.

A pesar de eso las concentraciones de los STD en las comunidades están muy por debajo del valor máximo admisible de 1 000 mg/L establecido por la norma CAPRE.

Color Verdadero

El color es una percepción registrada por la retina del ojo causada por la radiación de varias longitudes de onda. El deterioro de la materia inorgánica y los vegetales le imparten color al agua. A pesar de que el color directamente no está relacionado con efectos significativos en la salud, sirve como indicador para determinar o sospechar la presencia de otros tipos de contaminantes.

Este parámetro es principalmente rechazado por razones estéticas, que siempre juegan un papel fundamental en la aceptación del consumidor.

Mediante la Figura 5.5 se nota fácilmente que ninguna de las tres zonas cumple con la norma CAPRE de 1 mg/L Pt-Co como valor recomendado, no es de extrañar que los sitios en donde las aguas se encuentran expuestas (aguas superficiales) presenten los

niveles más altos de color, exceptuando la comunidad de *La Playa* cuyo valor de 5,1 mg/L Pt-Co es incluso menor que los obtenidos en los pozos y el menor valor registrado de los seis puntos, aun así es cinco veces mayor que el nivel recomendado de la norma CAPRE.

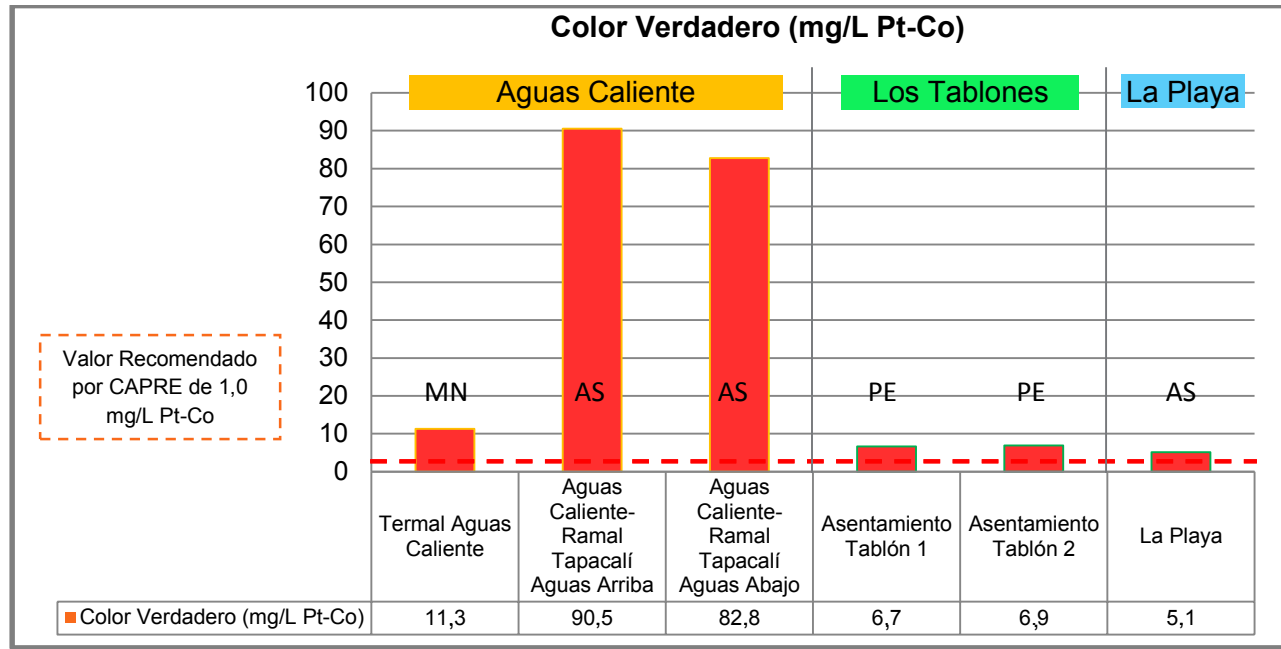


Figura 5.5 Valores de Color Verdadero.

Los sitios *Aguas Calientes-Ramal Tapacalí Aguas Arriba y Abajo* presentaron concentraciones de 90,5 mg/L Pt-Co y 82,8 mg/L Pt-Co respectivamente, ambos sitios ubicados en la comunidad de Aguas Caliente y ambos son aguas superficiales, el sitio *Termal Aguas Caliente* exhibe la concentración más baja de la comunidad Aguas Caliente con 11,3 mg/L Pt-Co., pero esta concentración aún está muy por encima del valor recomendado de 1,0 mg/L Pt-Co. de la norma CAPRE.

En la comunidad Los Tablones se observaron valores menores que los registrados en la Aguas Caliente, cuyos valores fueron de 6,7 mg/L Pt-Co y 6,9 mg/L Pt-Co para Los *Asentamientos Tablón 1 y 2*.

Sin duda es de vital importancia reducir este parámetro hasta que alcance una concentración menor a 1,0 mg/L Pt-Co que es lo que establece la norma CAPRE, este parámetro se reduce con el uso de FIME, desarenadores y sedimentadores.

Turbiedad (NTU)

La turbiedad es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de las partículas en suspensión; en palabras sencillas, mide la claridad del agua. La turbiedad afecta los ecosistemas acuáticos debido a que afecta la fotosíntesis, la respiración y reproducción celular.

Dentro de los parámetros que contribuyen al aumento de la turbiedad se pueden encontrar: fitoplancton, partículas del suelo, sedimentos, escorrentías, entre otros. A pesar de que el término se define con facilidad está relacionado directamente con parámetros como la temperatura ya que las partículas suspendidas absorben la luz del sol y a mayor temperatura disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Con ayuda de la Figura 5.6 se aprecia que los niveles de turbiedad no cumplen con el valor recomendado de 1,0 NTU por la norma CAPRE, además estos siguen la misma tendencia registrada en el parámetro anterior (Color).

De igual forma que con el parámetro de color, los sitios de la comunidad Aguas Calientes son los que presentan las turbiedades más altas registradas, donde *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba y Abajo* exhiben valores de 26,5 NTU y 21,9 NTU respectivamente.

Por otra parte los sitios de Los Tablones presentan valores menores que la comunidad Aguas Caliente y todos estos valores están por debajo de los 5,1 NTU, registrados en el *Asentamiento Tablón 2*.

La Playa mostró la menor turbiedad registrada con un valor de 1,4, NTU sin embargo no cumple con el valor recomendado por la norma CAPRE de 1,0 NTU pero se encuentra por debajo de 5,0 NTU como valor máximo admisible.

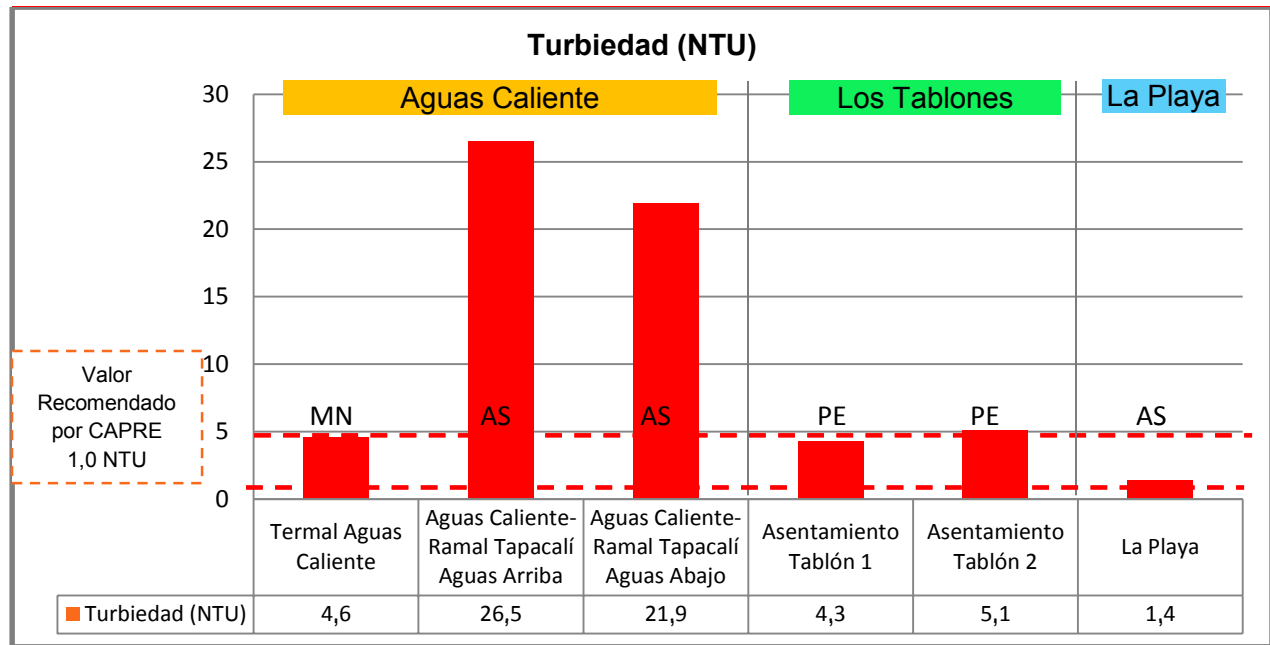


Figura 5.6 Valores de Turbiedad.

5.1.2 Características Químicas

Químicamente el agua en su estado puro es nada más que la unión de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, pero dentro de sus cualidades está la de ser un disolvente muy polar, dicha cualidad ha hecho que se gane el título de “disolvente universal”; esa misma cualidad permite que una inmensa cantidad de elementos y compuestos estén presentes en ella en forma de solución. Durante la realización de los análisis de laboratorio se seleccionaron los elementos que puedan producir efectos negativos sobre la salud del consumidor; además que puedan afectar los procesos de tratamiento y/o repercuten de forma significativa en los costos de potabilización.

Para evaluar la calidad química del agua se midieron ocho parámetros en los seis sitios previamente mencionados, dichos parámetros fueron: pH, dureza total, alcalinidad, calcio, magnesio, sulfatos, cloruros y fluoruros.

Tabla 5.2 Valores de Parámetros Químicos en Micro Región I.

	Nombre del Sitio	pH	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Fluoruros (mg/L)
Aguas Caliente	Termal Aguas Caliente	6,9	84,5	101,3	24,0	5,9	4,2	27,2	0,32
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba	7,5	118,3	155,9	19,2	17,1	2,0	28,4	0,38
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo	7,6	132,9	167,1	16,0	22,5	2,0	29,2	0,38

Los Tablones	Asentamiento Tablón 1	8,9	280,5	303,7	36,9	45,7	5,2	20,3	0,43
	Asentamiento Tablón 2	8,4	260,0	298,8	33,7	42,7	2,0	16,2	0,45
La Playa	La Playa	7,3	111,9	146,2	20,8	14,5	2,0	28,3	0,52

pH

El pH es un término usado universalmente para describir el grado de acidez o alcalinidad de cierta sustancia, mediante la concentración de los iones hidrógenos.

Este parámetro juega un papel crucial en los procesos de potabilización como la coagulación, desinfección por cloro, ablandamiento, control de la corrosión e influye muy directamente en los procesos biológicos. El rango de tolerancia para los sistemas biológicos es muy estrecho, ejemplo de eso son las bacterias nitrificadoras que pueden ser encontradas solamente en rangos de pH de 7,2 a 9,0.

El rango aceptable establecido por la norma CAPRE es de 6,5 a 8,5, mediante el análisis in situ, se pudo constatar que en la comunidad Aguas Caliente, todos los sitios se encuentran en el rango recomendado, y los valores de pH registrados es 6,9 en *Termal Aguas Caliente* y 7,6 en *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo*.

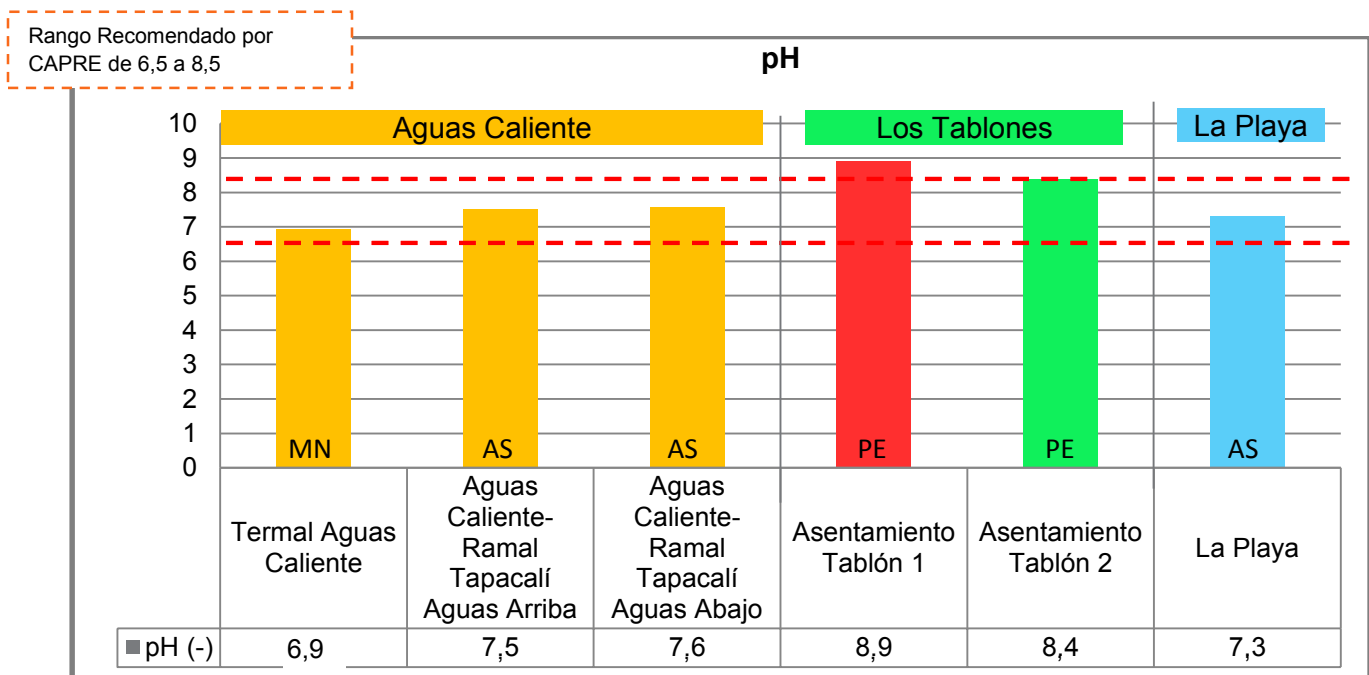


Figura 5.7 Valores de pH.

Los sitios de la comunidad Los Tablones obtuvieron valores más altos de pH, uno de ellos sobrepasa el rango superior de 8,5, siendo el sitio *Asentamiento Tablón 1* cuyo valor fue de 8,9, asimismo *Asentamiento Tablón 2* registro un valor de 8,4 un valor muy cercano al rango superior, con lo cual se consideran fuentes ligeramente básicas.

La comunidad *La Playa* por su parte registró un pH de 7,3 casi neutro, este valor representa una ventaja para el diseño de equipos de tratamiento que necesiten la adición de químicos o que trabajen biológicamente.

Dureza Total

El termino dureza hace referencia a la característica particular del agua para formar incrustaciones en las tuberías, accesorios o materiales con los que el agua este en contacto. La dureza implica una dificultad para el uso y manejo del agua, las sales disueltas de calcio y magnesio son las causantes de la formación de los depósitos y precipitaciones que dificultan el uso del agua, todo esto se traduce en incremento de los costos de operación y mantenimiento de equipos al trabajar de una manera ineficiente.

La norma CAPRE recomienda un valor de dureza de 400,0 mg/L, los niveles registrados de dureza en la comunidad Aguas Caliente están en el rango de 84,5 mg/L a 132,9 mg/L, Seigert (1998) clasifica a las aguas que se encuentran en este rango en semidura. En el caso de Los Tablones el rango obtenido fue de 111,9 mg/L a 280,5 mg/L, un rango de aguas de dura. *La Playa* por su parte muestra un valor de 111,9 mg/L por lo cual se considera agua semidura. En términos de dureza todos los sitios cumplen con el valor recomendado por la norma (Figura 5.8).

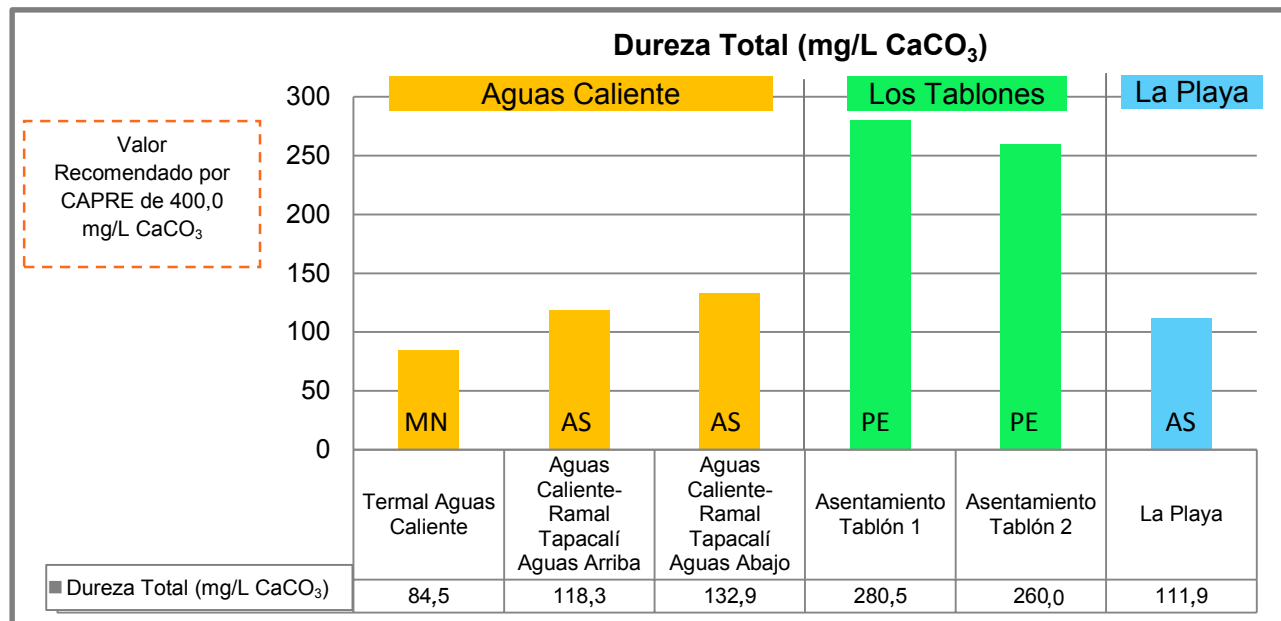


Figura 5.8 Valores de Dureza Total.

Alcalinidad

La alcalinidad es la habilidad de una sustancia de neutralizar un ácido o aceptar protones. Se determina mediante la suma de las bases contenidas, principalmente carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Asimismo la alcalinidad representa el principal sistema amortiguador del agua dulce e históricamente ha sido utilizado como indicador de la productividad de lagos; esto se debe a que las fuentes de agua con mayor alcalinidad registran mayores niveles de carbono, nitrógeno y fósforo.

En la Figura 5.9 están representados los resultados obtenidos para la alcalinidad del agua en los sitios muestreados, según Kevern (1989) citado por (Suárez, 2011) estos valores obtenidos se encuentran por encima de 75,0 mg/L CaCO₃ considerándose cuerpos de agua de mediana de productividad y los que sobrepasan los 150,0 mg/L CaCO₃, son considerados de alta productividad,

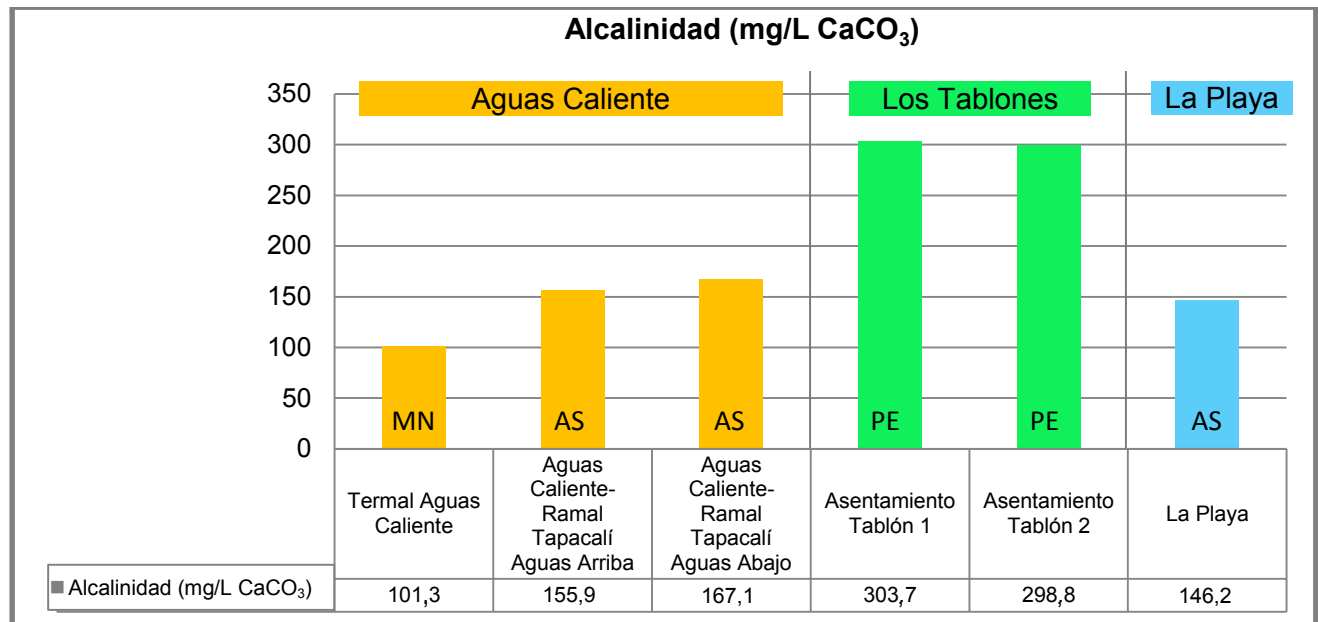


Figura 5.9 Valores de Alcalinidad.

En la comunidad Los Tablones se encuentran los cuerpos de agua con mayores concentraciones del doble del valor de 150,0 mg/L para las aguas de alta productividad, dichos valores se registraron en los *Asentamientos Tablón 1* y *2*, con 303,7 mg/L CaCO₃ y 289,8 mg/L CaCO₃ respectivamente.

La Playa por su parte no alcanza el valor de los 150,0 mg/L CaCO₃, pero su valor es muy cercano, es por eso que se considera a esta fuente de alta productividad.

En el caso de la comunidad de Aguas Caliente los valores registrados en *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba* y *Abajo* permite que se les considere como aguas de alta productividad debido a que ambos presentan valores superiores a los 150,0 mg/L CaCO₃, no siendo el caso de *Termal Aguas Caliente* cuya concentración de alcalinidad fue la menor de entre las tres comunidades, aun así se considera una fuente de mediana productividad.

Calcio (Ca²⁺)

Los iones de calcio son los más prevalentes de entre los tres o cuatro iones más comunes encontrados en las aguas subterráneas que por sus características son las que presentan mayor dureza. Generalmente se encuentra en su forma de ion libre (Ca²⁺) y el agua lo absorbe de las partículas del suelo, ya que en los suelos se encuentra en forma de calcita CaCO₃, anhidrita CaSO₄, fluorita CaF₂. Junto al magnesio son los responsables de la dureza del agua.

En la Figura 5.10 se puede observar los valores registrados en los sitios muestreados en las comunidades. La comunidad Los Tablones muestra los valores más altos de Calcio, estos se obtuvieron en los dos pozos conocidos como *Asentamientos Tablón 1* y 2, los cuales alcanzaron valores de 36,9 mg/L Ca^{2+} y 33,7 mg/L Ca^{2+} . Por su parte *La Playa* exhibe un valor de 20,8 mg/L Ca^{2+} .

Las fuentes de la comunidad Aguas Caliente obtuvieron valores menores a los 25,0 mg/L Ca^{2+} para sus tres sitios, siendo el *Termal Aguas Caliente* el sitio con la mayor concentración de calcio de la comunidad con 24,0 mg/L Ca^{2+} y *Aguas Caliente Ramal-Tapacalí Aguas Abajo*, el de menor concentración con 16,0 mg/L Ca^{2+} .

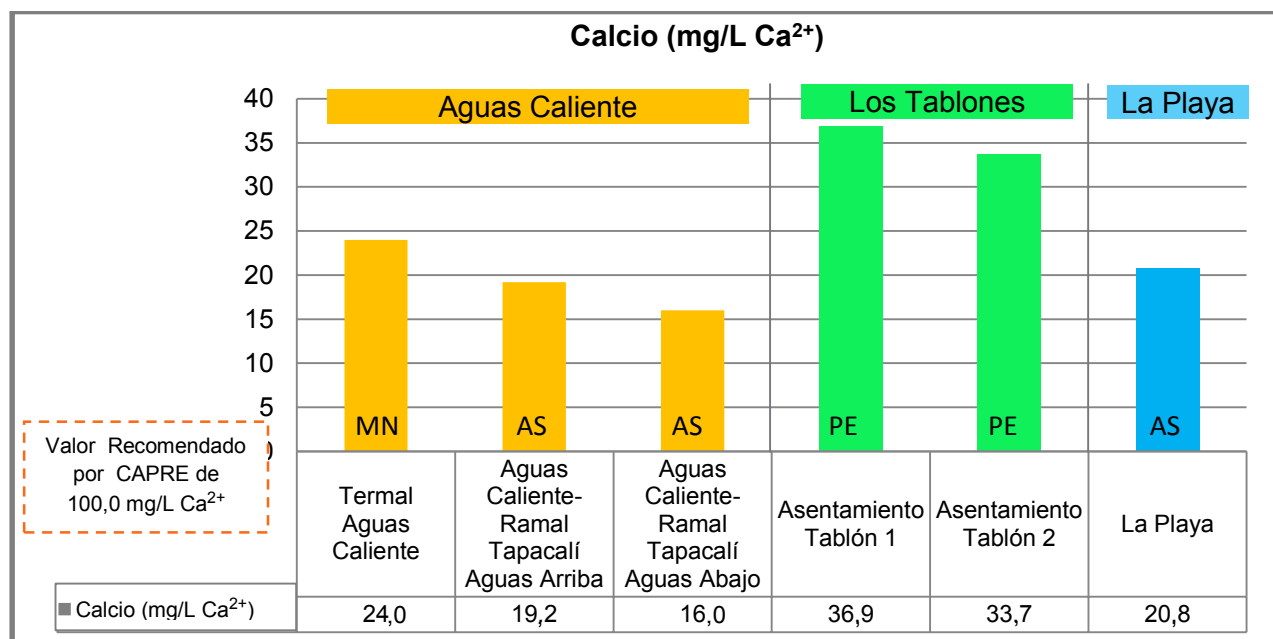


Figura 5.10 Concentraciones de Iones Calcio.

Magnesio (Mg^{2+})

Las sales de magnesio son más solubles que las de calcio, pero estas son menos abundantes en las rocas y suelo, por lo tanto tienen una menor disponibilidad para reaccionar con el agua. Las concentraciones de magnesio son típicamente de 10,0 mg/L a 20,0 mg/L para aguas superficiales, y de 30,0 mg/L a 40,0 mg/L para aguas subterráneas. Los iones calcio y magnesio causan la dureza natural de las aguas.

Los sitios *Asentamiento el Tablón 1* y 2 exhiben valores de 45,7 mg/L Mg^{2+} y 42,7 mg/L Mg^{2+} respectivamente, estas concentraciones son superiores a los recomendados por la norma CAPRE de 30,0 mg/L Mg^{2+} , esto concuerda con la teoría planteada ya que ambos sitios son pozos excavados de Los Tablones.

De las aguas superficiales y manantial que se encuentran en la comunidad Aguas Caliente ninguno de los valores sobrepasa el valor máximo recomendado por la norma CAPRE, todos sus valores estaban en el rango de los 5,9 mg/L Mg^{2+} del *Termal Aguas Caliente* a 22,5 mg/L Mg^{2+} de *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo*.

La comunidad La Playa por su parte exhibe un concentración de 14,5 mg/L Mg^{2+} , este valor es la mitad del valor recomendado por la norma CAPRE. En la Figura 5.11 se aprecian las concentraciones de todos los sitios.

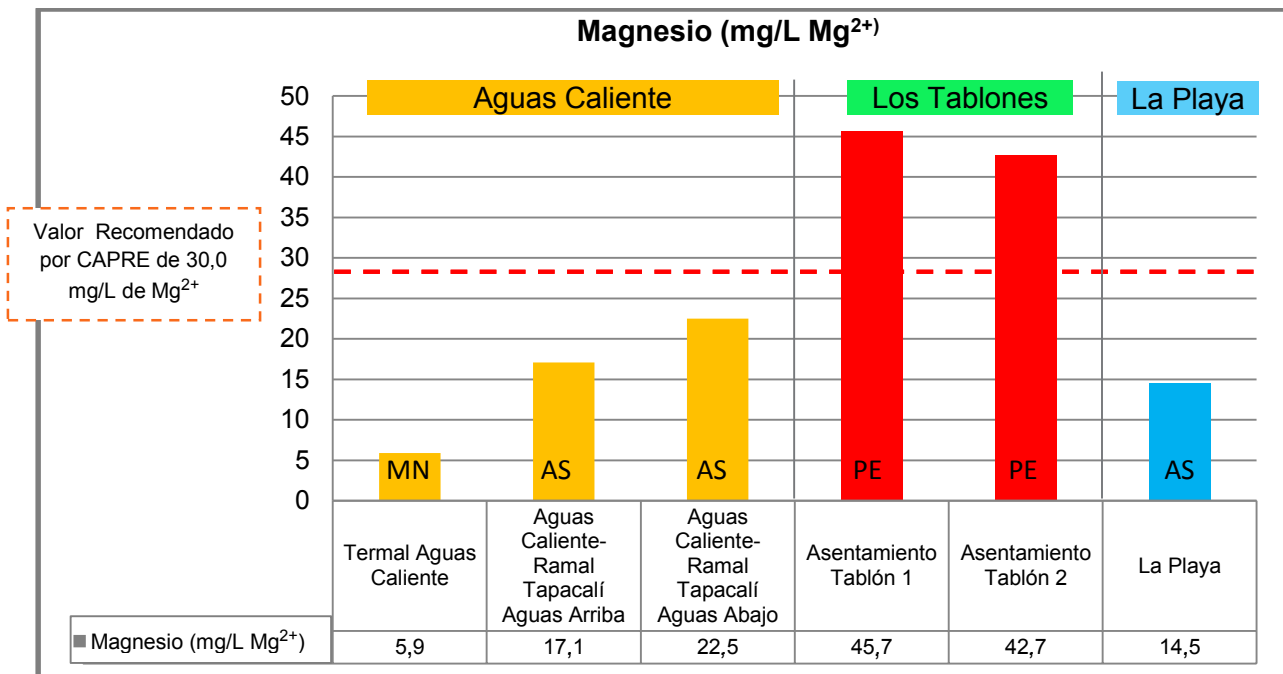


Figura 5.11 Concentraciones de Iones Magnesio.

Sulfatos (SO_4^{2-})

El sulfato se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. Las aguas subterráneas al moverse a través de formaciones rocosas y suelos adquieren el sulfato contenido en los minerales sulfatados. Las concentraciones típicas de sulfato en aguas oxidadas están en el rango de 5,0 mg/L SO_4^{2-} a 30,0 mg/L SO_4^{2-} .

Según la información que se obtuvo de los sitios muestreados que se observan en la Figura 5.12, tanto la comunidad Aguas Caliente, Los Tablones y La Playa cumplen con el valor recomendado de la norma CAPRE de 25,0 mg/L SO_4^{2-} , además de que en las tres comunidades se nota una moda de 2,0 mg/L SO_4^{2-} , para los sitios de *Aguas*

Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba y Abajo de la comunidad Aguas Caliente, Asentamiento Tablón 2 de Los Tablones y La Playa de la Playa.

En Los Tablones está ubicado el sitio con la mayor concentración el cual fue *Asentamiento el Tablón 1* cuyo valor fue de 5,2 mg/L SO_4^{2-} , 1,0 mg/L SO_4^{2-} superior a la máxima concentración registrada en la Aguas Calientes y 3,0 mg/L SO_4^{2-} superior a *La Playa*.

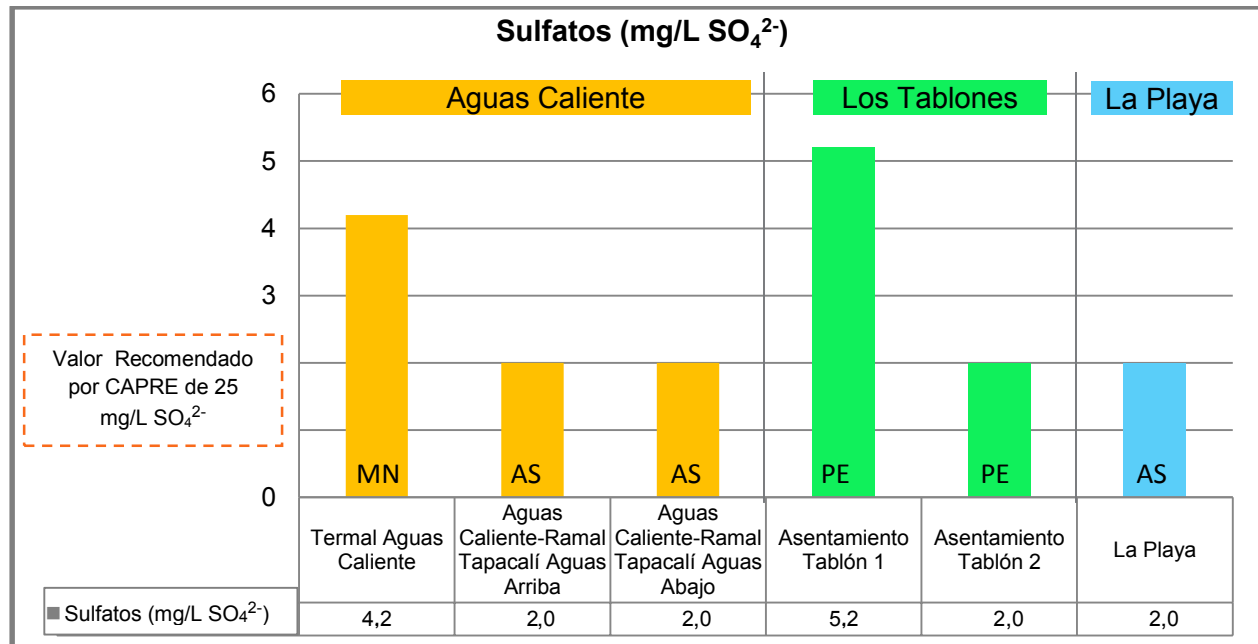


Figura 5.12 Concentraciones de Iones Sulfatos.

Cloruros (Cl^-)

La presencia de cloruros en las aguas naturales se atribuyen a varias actividades antropogénicas, las más representativas son: disolución de depósitos minerales de sal; contaminación de diversos efluentes de actividades industriales, aguas de riego y en ocasiones por los incrementos esporádicos de contaminaciones domésticas.

Los cloruros están presentes en las aguas de consumo, pero en forma de ion, esto es debido a los procesos de desinfección con cloro que sirven para eliminar contaminantes patógenos, principalmente para eliminar coliformes fecales.

Según la norma CAPRE el nivel de cloruro recomendable para consumo humano es de 25,0 mg/L Cl^- , lamentablemente ninguno de los sitios de la Aguas Caliente cumple con este parámetro, ya que todos sus valores se encuentran por encima de los 25,0 mg/L Cl^- .

En la comunidad Los Tablones, están los únicos sitios que no sobrepasan la concentración recomendada por la norma CAPRE, se puede percibir que todas las aguas superficiales en la comarca presentan contaminación por cloruro, causado por las actividades antropogénicas.

A pesar de que los cloruros no representan un riesgo nocivo para los consumidores, en altas concentraciones las características organolépticas del agua cambian provocando un sabor poco agradable al paladar (Figura 5.13).

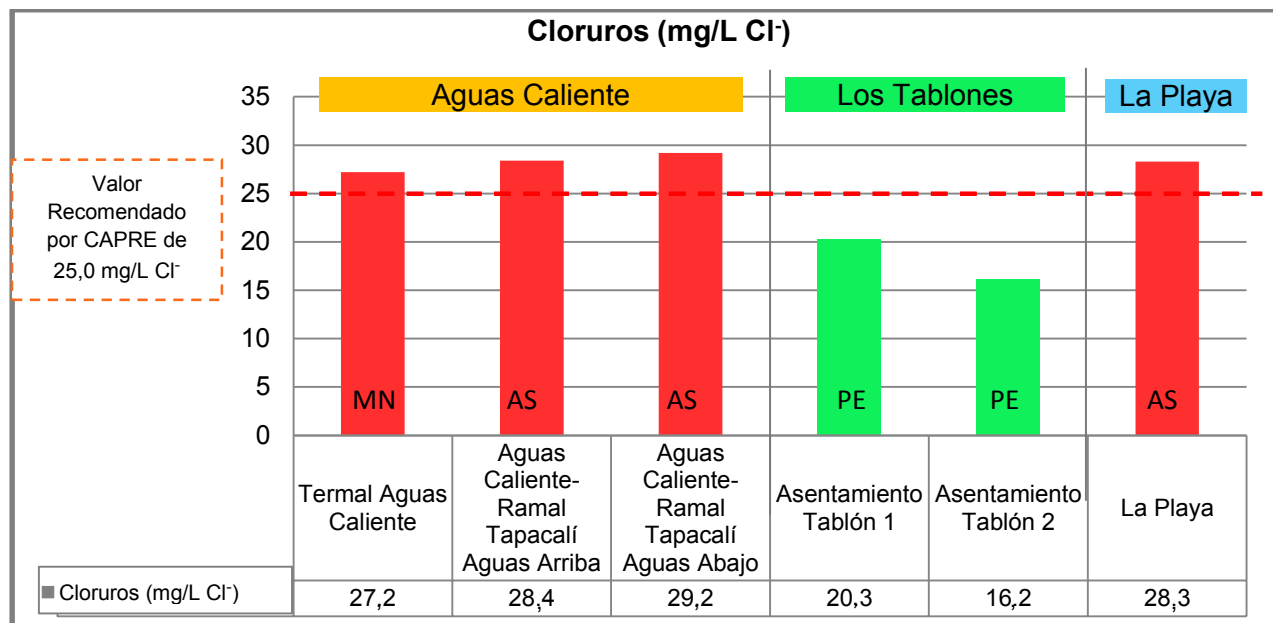


Figura 5.13 Concentraciones de Iones Cloruros.

Fluoruros (F⁻)

El flúor es uno de los elementos más comunes de la corteza terrestre. Su presencia en el agua se debe principalmente a la infiltración y disolución de este elemento del suelo y las rocas que lo contienen. Esta situación se presenta principalmente en las aguas subterráneas.

Aunque en concentraciones menores a 1,0 mg/L los resultados son benéficos debido a la capacidad de prevenir las caries dentales, una exposición prolongada de altas concentraciones de fluoruros tiene resultados adversos, tales como fluorosis e incluso deformación ósea.

En las tres zonas los valores de concentraciones de fluoruros se encuentran por debajo del valor recomendado por la norma CAPRE de 0,7 mg/L F⁻ para las aguas destinadas al consumo humano.

La comunidad Los Tablones exhibió las concentraciones más altas, alcanzando valores de 0,43 mg/L F⁻ y 0,45 mg/L F⁻ en los *Asentamiento Tablón 1* y 2.

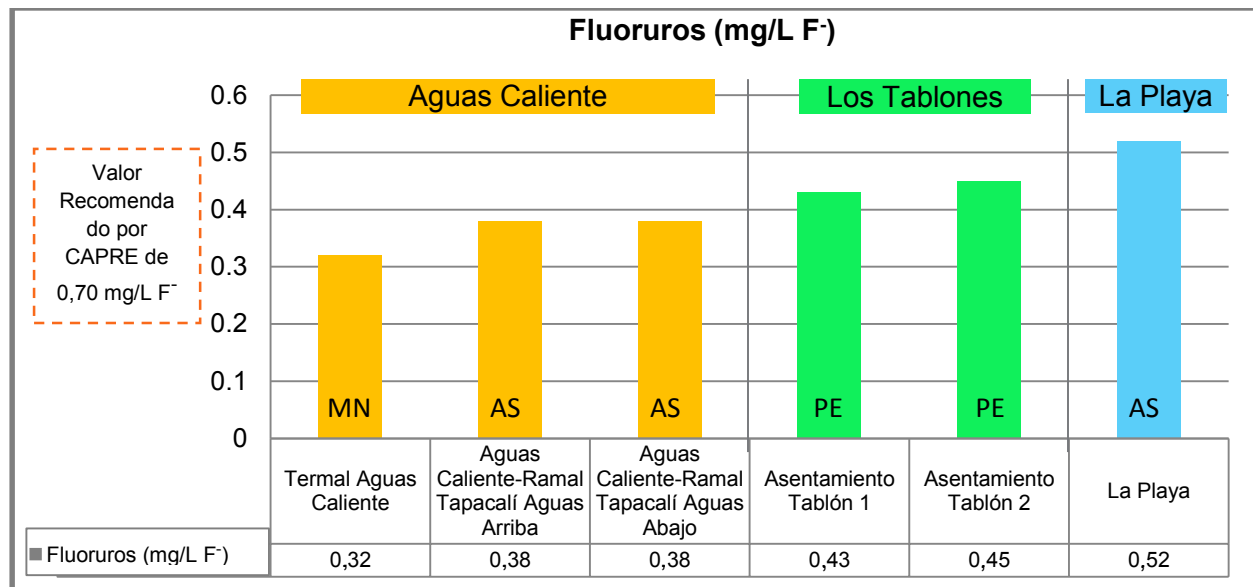


Figura 5.14 Concentraciones de Iones Fluoruros.

Las concentraciones de flúor en La comunidad Aguas Caliente fueron en promedio hasta 0,10 mg/L F⁻ menores que las registradas en la comunidad Los Tablones, con concentraciones de 0,38 mg/L F⁻ para los sitios *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba* y *Abajo* y 0,32 mg/L F⁻ para *Termal Aguas Caliente*.

Caso contrario ocurrió en la comunidad La Playa cuyo valor registrado fue de 0,52 mg/L F⁻, el valor más alto de las tres comunidades, aun así esta concentración es menor al valor recomendado de 0,70 mg/L F⁻ establecido por la norma CAPRE, por lo cual no existe ningún riesgo adverso por la ingesta prolongada de fluoruros en ninguna de las tres comunidades.

5.1.3 Características de los Metales y Metaloides

La presencia de metales en agua potable es de gran importancia ya que sus efectos en las aguas naturales pueden ser benéficos en concentraciones muy pequeñas, pero en concentraciones mayores pueden ser muy tóxicos. Algunos metales son esenciales,

otros pueden afectar adversamente a los consumidores y a los cuerpos de agua receptores.

Además de los metales, es muy importante el estudio de los metaloides; los metaloides poseen propiedades físicas semejante a los metales y no metales, la semejanza que poseen metales y metaloides es que ambos presentan diferentes estados de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en el agua.

A las tres comunidades se les realizaron cinco análisis, de los cuales cuatro fueron para analizar las concentraciones de los metales aluminio, plomo y hierro y un análisis fue para la determinación de las concentraciones del metaloide arsénico.

Tabla 5.3 Concentración de Metales y Metaloides en Micro Región I.

	Nombre del Sitio	Aluminio (mg/L)	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Arsénico (µg/L)	Plomo (µg/L)
Aguas Caliente	Termal Aguas Caliente	0,016	0,02	0,02	2,10	9,0
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba	0,002	0,02	0,02	0,84	10,0
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo	0,006	0,02	0,02	1,00	10,0
Los Tablones	Asentamiento Tablón 1	0,003	0,02	0,02	1,78	9,0
	Asentamiento Tablón 2	0,007	0,04	0,04	3,44	9,0
La Playa	La Playa	0,008	0,04	0,04	1,36	10,0

El plomo y arsénico son extremadamente peligrosos debido a los altos grados de toxicidad que ambos presentan, al Nicaragua ser un país con formaciones volcánicas y actividad minera en algunas zonas del país, existen problemas por contaminación de plomo y arsénico en algunas fuentes hídricas.

Aluminio (Al^{3+})

El aluminio es una de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, y de mucha utilidad para los diversos tipos de industrias, como la: alimenticia, farmacéutica, construcción y del tratamiento de agua.

El aluminio se encuentra naturalmente en la naturaleza, ya que es liberado por procesos naturales, procesos de erosión del suelo, erupciones volcánicas y por acciones antropogénicas. Actualmente se relaciona a este elemento con la enfermedad

de Alzheimer aunque no existen estudios exactos que demuestres o refuten lo contrario.

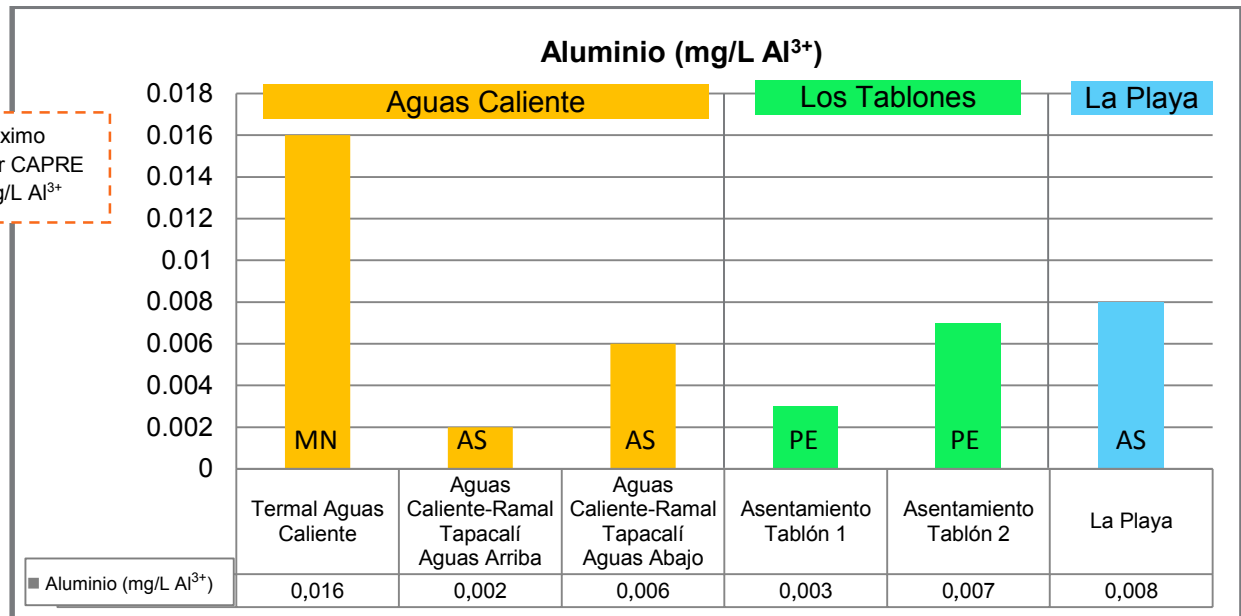


Figura 5.15 Concentraciones de Aluminio.

Las concentraciones de aluminio examinadas en la comunidad Aguas Caliente son concentraciones de aluminio bajas, a excepción del sitio *Termal Aguas Caliente* que registró un valor de 0,013 mg/L Al³⁺, aun así este valor ni siquiera ronda el valor guía de 0,05 mg/L Al³⁺ recomendado por las normas CEE citadas por las normas CAPRE y menos el valor guía de 0,2 mg/L Al³⁺ de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en pocas palabras las concentraciones son tan bajas que no existe un riesgo de ser afectado por el aluminio para este sitio de la comunidad.

De igual forma las concentraciones de aluminio en las fuentes de la comunidad Los Tablones fueron bajas, en el rango de 0,003 mg/L Al³⁺ registrada en el *Asentamiento Tablón 1*, hasta la máxima de 0,007 mg/L Al³⁺ del sitio *Asentamiento Tablón 2*. Por lo tanto no existe riesgo de contaminación por aluminio en esta zona de comunidad.

El sitio *La Playa* no fue la excepción en términos de concentraciones bajas en los sitios muestreados, alcanzando un valor de 0,008 mg/L Al³⁺; por lo que se puede expresar que el aluminio no representa un riesgo para los habitantes de la comunidad.

Hierro y Manganeseo (Fe y Mn)

El hierro y el manganeseo son dos elementos similares que a pesar de no representar daños para la salud de los consumidores, pueden ser un fastidio para los mismos, debido a que le impregnan un sabor, olor y color desagradable al agua; ambos causan manchas rojizas cafés o cafés negras a: la ropa, utensilios de cocina, accesorios de plomería y concreto.

El hierro y el manganeseo son elementos comunes en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo, esta disuelve estos minerales y los transporta con ella.

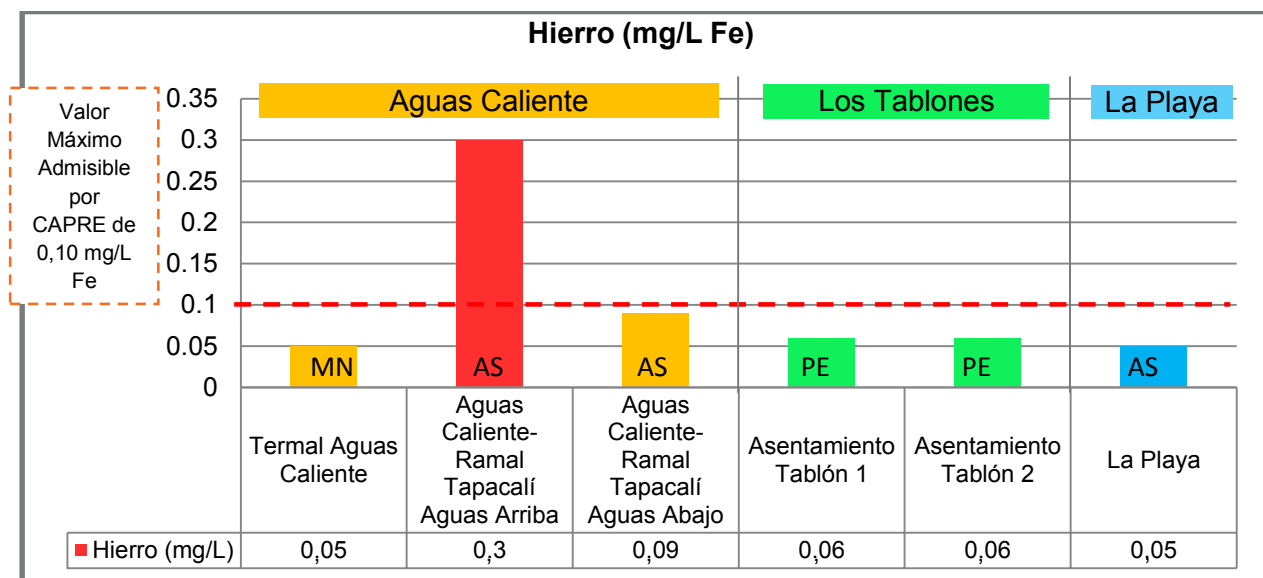


Figura 5.16 Concentraciones de Hierro.

En la comunidad Aguas Caliente se encuentra el sitio de *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba*, que es el sitio que registró la mayor concentración de hierro de las tres zonas con un valor de 0,30 mg/L Fe, los otros dos sitios alcanzaron concentraciones de 0,05 mg/L Fe y 0,09 mg/L Fe con lo cual no sobrepasan el valor establecido por la Norma CAPRE.

Por su parte la comunidad Los Tablones exhibe concentraciones relativamente bajas, ninguno de los dos sitios incumplió con la norma, los Asentamientos Tablón 1 y 2, registraron un valor de 0,06 mg/L Fe cada uno.

El sitio *La Playa* registró un valor de 0,05 mg/L Fe uno de los más bajos dentro de la comarca Micro Región I, este valor es 50% menor que el máximo admisible por la

norma CAPRE, con lo cual sólo uno de los seis sitios muestreados incumple con los parámetros de aceptabilidad de hierro descritos por la norma CAPRE.

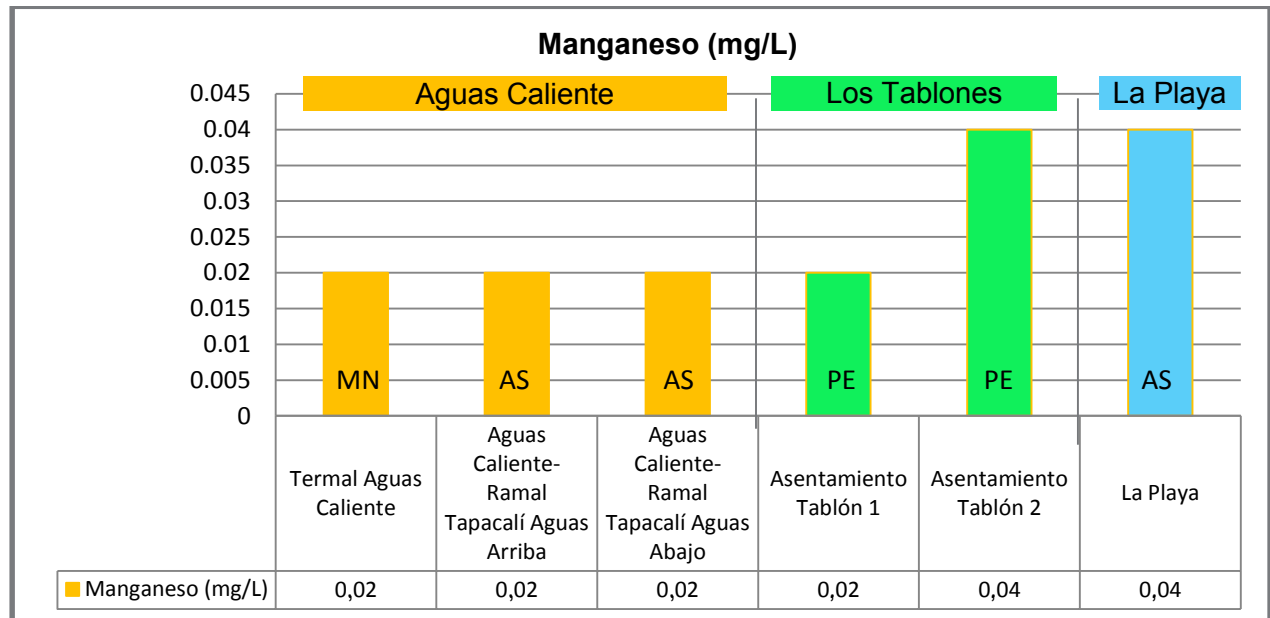


Figura 5.17 Concentraciones de Manganeso.

Con base en los resultados que se observan en la Figura 5.17 se afirma que las concentraciones de manganeso presentan una moda de 0,02 mg/L de Mn, esta concentración se repitió en los tres sitios de la comunidad de *Aguas Caliente* y estuvo presente en el pozo de *Asentamiento Tablón 1*, en la comunidad de los Tablones. El sitio de la comunidad *La Playa* por su parte muestra una concentración de 0,04 mg/L de Mn un 50% mayor con respecto a la comunidad de *Aguas Caliente* pero en el rango de aceptabilidad de las normas nacionales y CAPRE.

A pesar de que no representa un riesgo para la salud es muy importante remover estos parámetros que ocasionan muchas molestias a los consumidores y en el sistema de tratamiento. Los tratamientos de filtración en múltiples etapa (FiME) son muy buenos para la disminución de concentraciones de hierro y manganeso.

Plomo (Pb)

El plomo es un metal común que se encuentra en el ambiente, representa un peligro para la salud humana y puede entrar al organismo por medio de ingesta o inhalación.

El plomo se acumula en el organismo hasta alcanzar niveles tóxicos, se absorbe a través de sistema digestivo, pulmones e incluso la piel. Es transportado por la sangre y se deposita en los huesos.

En la Figura 5.18 se aprecia que las concentraciones de plomo en la comunidad Aguas Caliente, específicamente en los sitios *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba* y *Abajo* alcanzaron el valor máximo admisible de 10,0 µg/L Pb establecido por la norma CAPRE, lo que representa un riesgo inmediato para las personas que se abastecen con estas fuentes de agua, así mismo el sitio *Termal Aguas Caliente* alcanzó una concentración muy cercana lo que representa un riesgo potencial por la ingesta de plomo.

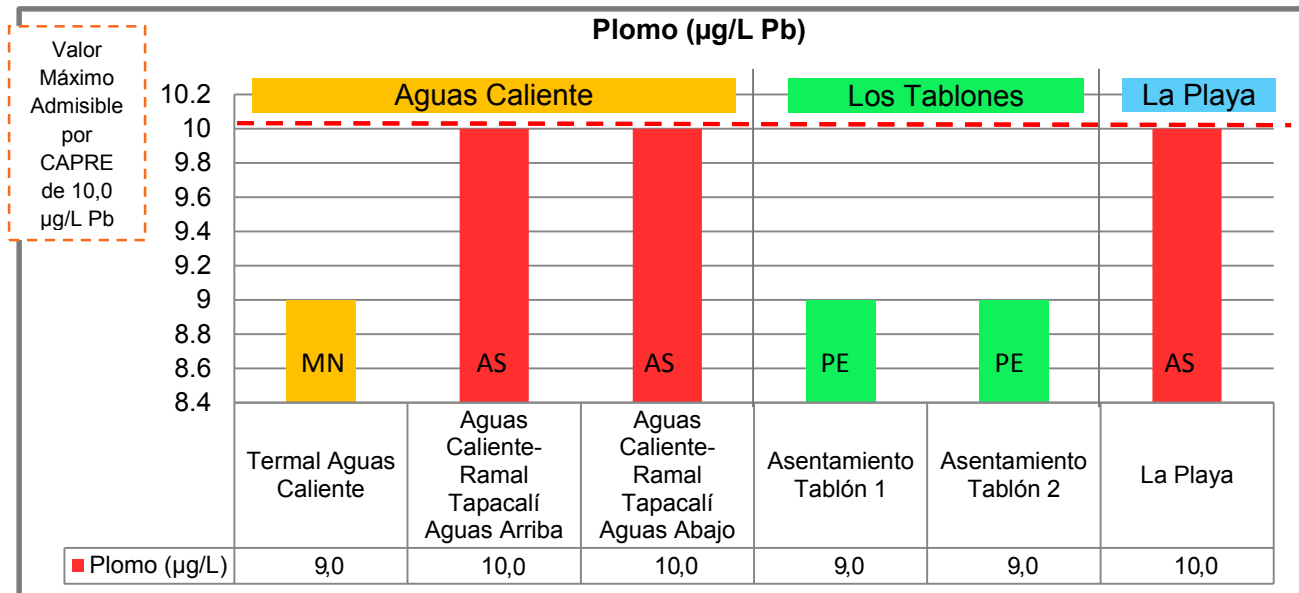


Figura 5.18 Concentraciones de Plomo.

La comunidad Los Tablones no es ajena a la problemática registrada en la comunidad Aguas Caliente, debido que los sitios *Asentamiento Tablón 1* y *2* obtuvieron valores muy cercanos al valor máximo admisible, obteniendo un concentración de 9,0 µg/L Pb en ambos sitios, lo cual es una problemática para la salud de sus consumidores a mediano y largo plazo.

La comunidad La Playa también está expuesta a los mismos problemas de exceso de plomo, tal y como en sus comunidades vecinas, la concentración del sitio *La Playa* fue de 10,0 µg/L Pb.

Con respecto al plomo Según Hamann, McEwen, & Myers (1990) los procesos de coagulación, sedimentación, filtración y ablandamiento con cal poseen una eficiencia del 90% al 100% de remoción, por lo tanto se recomienda cualquiera de estos tratamientos para remover o disminuir las concentraciones de plomo y otros parámetros indeseables.

Arsénico (As)

El arsénico es un elemento presente en la corteza terrestre y se distribuye en el ambiente a través de procesos naturales y algunas actividades antropogénicas. Existe tanto en forma orgánica, como inorgánica. La contaminación por aguas subterráneas por sales de arsénico inorgánico origina una enfermedad conocida como hidroarsenicismo.

Las actividades mineras pueden incrementar la velocidad de liberación de arsénico a partir de los sulfuros minerales porque los exponen a procesos de meteorización durante las tareas de excavación.

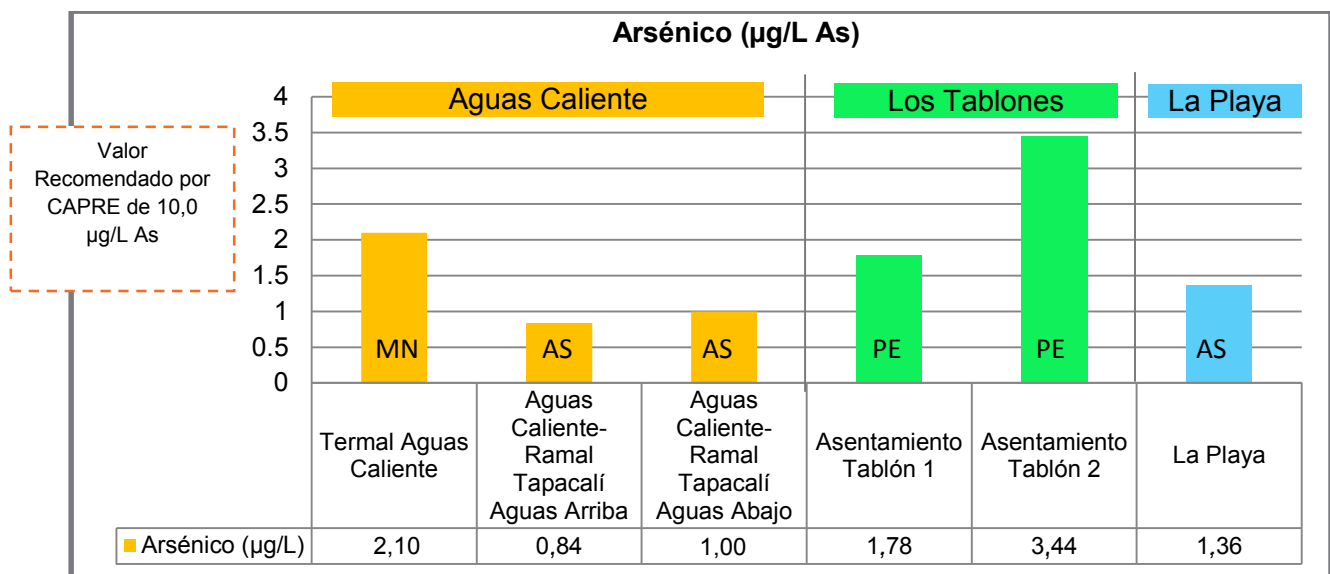


Figura 5.19 Concentraciones de Arsénico.

El arsénico en contraposición con el plomo no excede el valor máximo admisible (10,0 µg/L As) por la norma CAPRE en ninguna de las tres zonas analizadas; los valores que se determinaron están en un rango de 0,84 µg/L As para *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba* a 2,10 µg/L As en *Termal Aguas Caliente* en la comunidad Aguas Calientes; de 1,78 µg/L As en *Asentamiento Tablón 1* a 3,44 µg/L As para *Asentamiento Tablón 2*, en la comunidad Los Tablones y finalmente de 1,36 µg/L As en *La Playa*.

La mayor concentración de arsénico se encuentra en la comunidad Los Tablones, en el *Asentamiento Tablón 2*, sin embargo esta concentración no es cercana a los 10,0 µg/L As, establecidos como valor guía por las normas CAPRE, por lo tanto este parámetro no representa un riesgo para la salud de sus consumidores a mediano, ni corto plazo.

5.1.4 Características de los Nutrientes

Para evaluar la calidad del agua con base en los nutrientes, se realizaron cuatro análisis a los sitios de interés, los análisis fueron nitritos, nitratos, amonio y fósforo total, estos análisis son necesarios debido a que una gran cantidad de nutrientes promueven el crecimiento de plantas y otros organismos que al morir demandan grandes cantidades de oxígeno disuelto, provocando malos olores en el agua, aspecto nauseabundo y muerte de los demás seres vivos en el agua como los peces; a este proceso se le conoce como eutrofización.

Tabla 5.4 Concentración de Nutrientes en Micro Región I.

	Nombre del Sitio	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
Aguas Caliente	Termal Aguas Caliente	2,9	0,04	0,07	0,063
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba	4,4	0,05	0,02	0,085
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo	3,2	0,01	0,04	0,092
Los Tablones	Asentamiento Tablón 1	2,5	0,05	0,02	0,042
	Asentamiento Tablón 2	6,8	0,02	0,02	0,031
	La Playa	9,1	0,03	0,08	0,146

Nitritos (NO_2^-)

El ion nitrito es la base conjugada del ácido nitroso (HNO_2), el cual es un ácido débil y existe sólo en solución acuosa fría diluida porque se descompone rápidamente para obtener agua y trióxido de di nitrógeno (N_2O_3) o ácido nítrico, u óxido nítrico (NO) y agua.

Generalmente las concentraciones de nitritos en agua son bajas, al estar cargado negativamente es repelido por las cargas negativas del suelo, generando una situación que permite que se introduzca en las aguas subterráneas.

Las concentraciones de nitritos en todas las comunidades se encuentran por debajo de valor recomendado de CAPRE de 0,10 mg/L NO_2^- por lo tanto se puede consumir agua sin consecuencia notable a largo plazo para los pobladores.

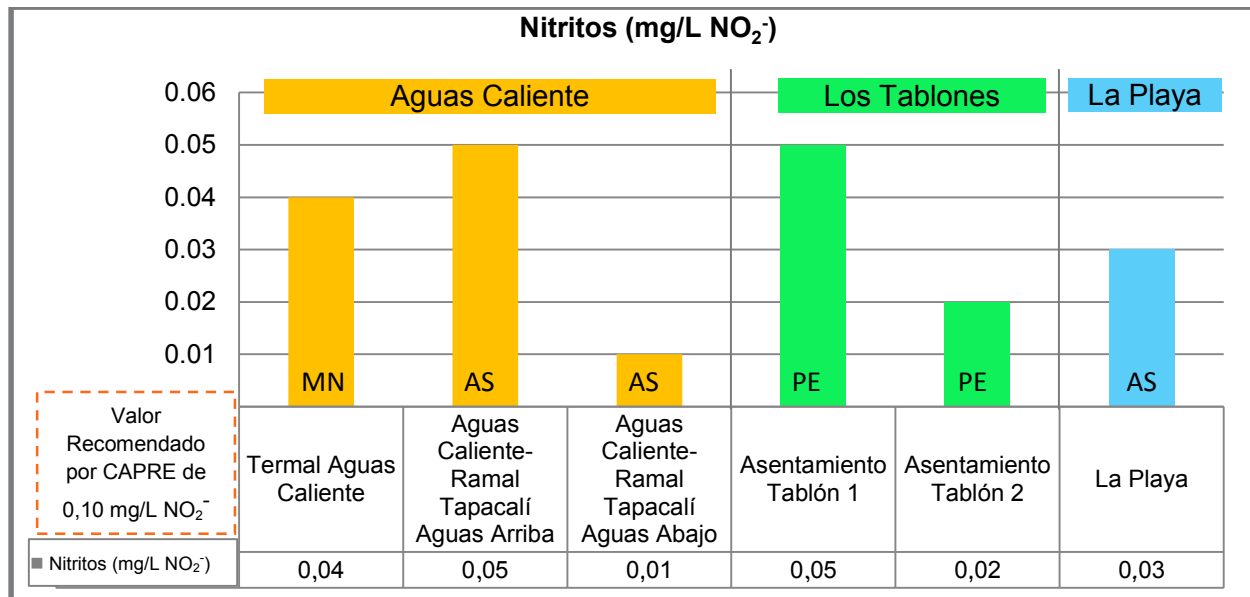


Figura 5.20 Concentraciones de Nitritos.

La concentración de nitritos es de 0,01 mg/L NO₂⁻ en *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo* como valor más bajo y 0,05 mg /L NO₂⁻ en *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba* como valor más alto encontrado en la comunidad Aguas Calientes (Figura 5.20).

La comunidad Los Tablones presento niveles de concentración parecidos a los de la Aguas Calientes y con una ligera variación estándar dentro de la comunidad, el valor más alto fue de 0,05 mg /L NO₂⁻ medido en el sitio *Asentamiento Tablón 1*, contrariamente en *Asentamiento Tablón 2* obtuvo la concentración de nitritos más baja de Los Tablones con 0,02 mg /L NO₂⁻

Asimismo *La Playa* tiene una concentración de 0,03 mg /L NO₂⁻. Las concentraciones en las tres comunidades son tan bajas que no existe riesgo de daño a la fuente o a la salud que vaya a estar asociada con los nitritos.

Nitratos (NO₃⁻)

El ion nitrato es la base conjugada del ácido nítrico (HNO₃). El ácido nítrico es un ácido fuerte el cual se disocia en agua produciendo iones nitratos (NO₃⁻) e iones hidronios (H₃O⁺).

El nitrato es una forma iónica combinada de nitrógeno y oxígeno en condiciones aerobias y resulta de la oxidación total de los compuestos nitrógeno. Es un ion estable, soluble en agua, muy móvil, el cual se puede lixiviar a través del suelo.

En la Figura 5.21 se observa que ninguna de las tres comunidades muestreadas representa un riesgo de contaminación por este nutriente; que claramente está presente en las fuentes de agua pero no a concentraciones indeseables, el valor recomendado para este parámetro es de 25,0 mg/L NO_3^- , el sitio *La Playa* de la comunidad La Playa cuyo valor es el mayor de los seis sitios apenas registra una concentración de 9,1 mg/L NO_3^- el cual no es ni cercano al valor recomendado por la norma CAPRE de 25,0 mg/L NO_3^- .

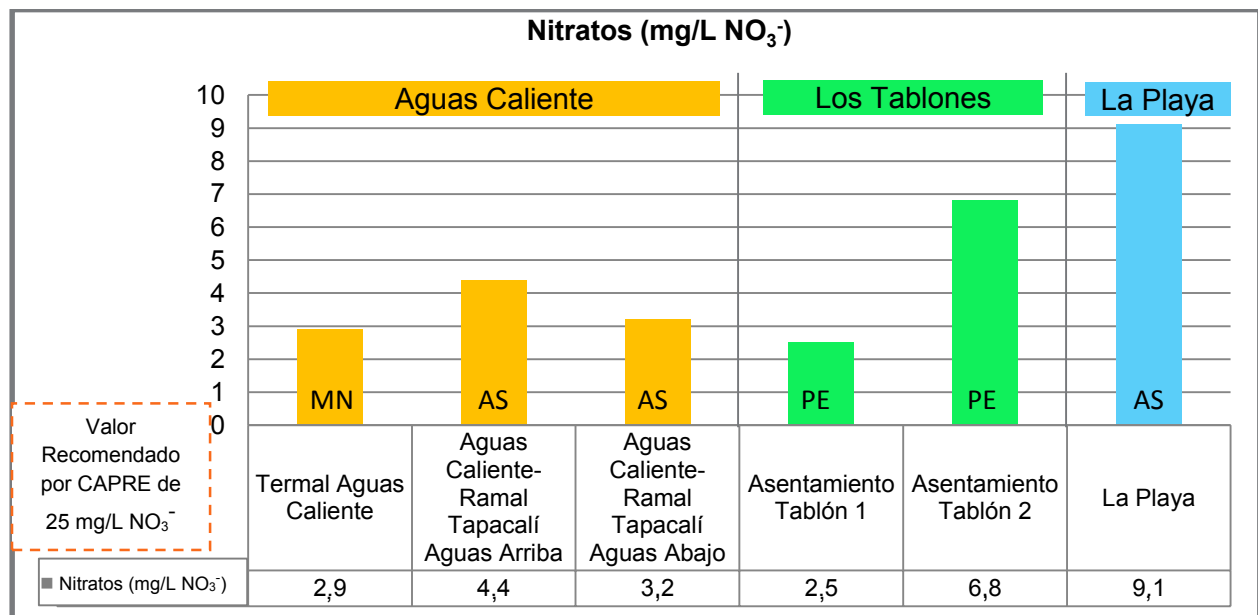


Figura 5.21 Concentraciones de Nitratos.

Amonio (NH_4^+)

El ion amonio es un producto proveniente de la descomposición de residuos orgánicos nitrogenados (amonificación) o de fijación biológica. Debido a que dicho ion posee una carga positiva en su composición química, este puede retenerse en las partículas de arcilla del suelo cuya carga es negativa; por lo que es relativamente inmóvil en el suelo, como consecuencia de ello y por lo general no se incorpora al agua subterránea.

Con respecto al amonio, en la comunidad Aguas Caliente dos de los tres sitios muestreados cumplen con el valor recomendado por la norma CAPRE de 0,05 mg/L NH_4^+ , dicho sitios son *Aguas Calientes-Rama Tapacalí Aguas Arriba* y *Abajo* con 0,02 mg/L NH_4^+ y 0,04 mg/L NH_4^+ respectivamente, no siendo el caso de *Termal Aguas*

Caliente que excede el valor en 0,02 mg/L NH_4^+ un 40% por encima del valor recomendado.

La comunidad Los Tablones presenta valores de 0,02 mg/L NH_4^+ para ambos asentamientos, dicho sitios cumplen con el valor guía de las normas CAPRE.

Para el caso de *La Playa* su concentración de amonio fue de 0,08 mg/L NH_4^+ un 60% por encima del valor guía, al mismo tiempo fue la concentración más alta registrada dentro de las tres comunidades.

Estas concentraciones de amonio se pueden deber a una cantidad notable de materia orgánica en descomposición como hojas, plantas muertas, restos de comida, animales muertos y cualquier otra cosa en estado de putrefacción.

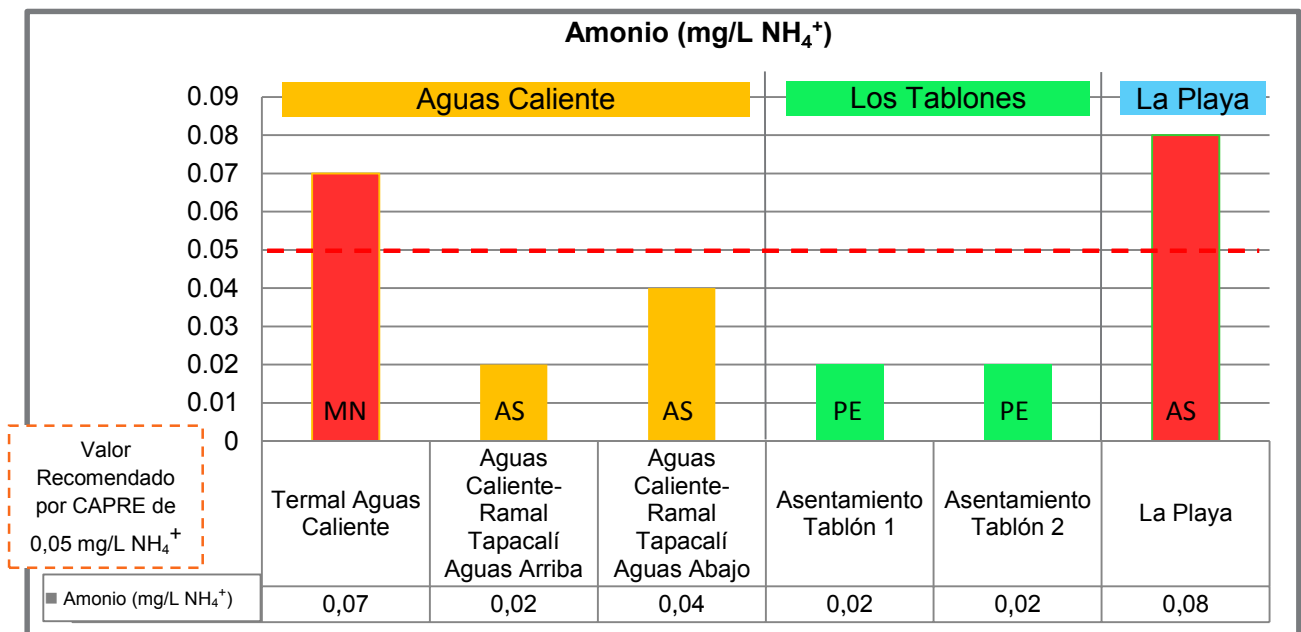


Figura 5.22 Concentraciones de Amonio.

Fósforo Total

El fósforo es un elemento esencial para la vida como un factor clave limitador de nutrientes, sin embargo contribuye junto con el nitrógeno a la eutrofización de lagos y otros cuerpos de agua.

El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos.

Las concentraciones de fósforo de las tres comunidades se encuentran dentro del valor recomendado por la norma CAPRE, no existe ningún problema con este nutriente en términos de concentraciones excesivas en general, en ninguna de las comunidades.

La concentración más alta fue obtenida en *La Playa* sitio de la comunidad La Playa, la concentración de este sitio fue de 0,146 mg/L P, caso contrario ocurrió en el *Asentamiento Tablón 2* de la comunidad Los Tablones en donde la concentración fue de 0,031 mg/L P, la más baja de los seis sitios. El valor recomendado por las normas CEE citadas por las normas CAPRE es de 0,40 mg/L P.

En la comunidad Aguas Calientes se registraron concentraciones con variaciones menores, dichas concentraciones fueron de los 0,063 mg/L P en *Termal Aguas Caliente* hasta los 0,092 mg/L P de *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo*. Todos los sitios cumplen con las norma de la CEE citado por las normas CAPRE.

No es necesaria ninguna acción para disminuir las concentraciones de fósforo, debido a que se encuentra en un buen nivel de aceptabilidad, en el que no provocará ningún inconveniente en una posible planta de tratamiento o para las personas que consuman el agua proveniente de esos recursos hídricos.

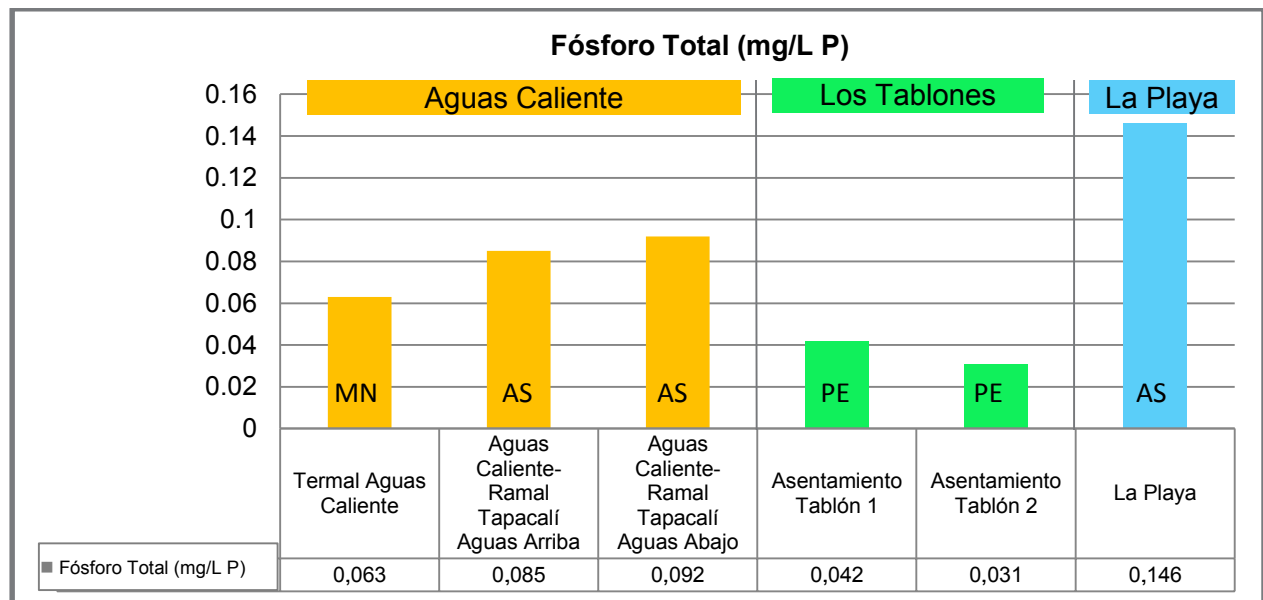


Figura 5.23 Concentraciones de Fósforo.

5.1.5 Características Microbiológicas

Además de las características físicas y químicas es importante realizar un análisis microbiológico del agua, el grupo de integrantes que conforman las características

microbiológicas son: bacterias, protozoo y virus. En estos análisis sólo se tomaron en cuenta el grupo de las bacterias.

Tabla 5.5 Concentración Microbiológica en Micro Región I.

	Nombre del Sitio	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
Aguas Caliente	Termal Aguas Caliente	78
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba	51
	Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo	61
Los Tablones	Asentamiento Tablón 1	Negativo
	Asentamiento Tablón 2	Negativo
La Playa	La Playa	52

Las bacterias están ampliamente distribuidas en la naturaleza, se encuentran en el agua que se toma, en la comida que se ingiere, en el aire que se respira y dentro de los cuerpos humanos (*Escherichia coli*). Las bacterias son abundantes en las capas superiores del suelo, en ríos, lagos, mar, simplemente están en todas partes.

Coliformes Fecales

Las bacterias del grupo coliformes se refiere al grupo de bacterias gram-negativas, aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, tienen forma de bacilo corto no esporulado, que fermentan la lactosa. Este grupo de bacterias se encuentran altamente distribuido en la naturaleza, se puede encontrar en el agua, suelo y en la vegetación de manera natural y no sólo como contaminante, además forma parte de la flora intestinal de los seres humanos y de animales de sangre caliente.

Las coliformes se encuentran en las distintas capas superiores de los suelos y son arrastradas por las lluvias a las fuentes de agua receptoras, en los ríos por ejemplo están se pueden adherir a las rocas y formar colonias. Son infecciosas, provocan muchas dolencias y problemas gastrointestinales, con consecuencias aún mayores para los niños y los ancianos.

La comunidad Aguas Caliente es la que presenta mayor contaminación por coliformes fecales, esto no es de extrañar debido a que las fuentes son en su totalidad superficiales y están expuestas a las actividades humanas; en dichos sitios se registraron valores de coliformes fecales que van desde los 51 NMP/100 mL en Aguas

Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba; 61 NMP/100 mL en *Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Abajo* y 78 NMP/100 mL en *Termal Aguas Caliente*, por lo que es de vital importancia incluir en el diseño un método de eliminación de coliformes fecales como la desinfección con cloro.

La comunidad Los Tablones no presenta coliformes en los dos pozos *Asentamiento Tablón 1* y *2*, y es la única comunidad que cumple con este parámetro, este es debido a la protección que tienen las fuentes al no estar expuestas como el caso de las aguas superficiales.

El sitio *La Playa* muestra un valor de 52 NMP/100 mL, la norma CAPRE establece que el parámetro de coliformes fecales debe de ser negativo y en caso contrario hay que aplicar un tratamiento de cloración ya que las coliformes es un parámetro indeseable y muy perjudicial para la salud de los consumidores.

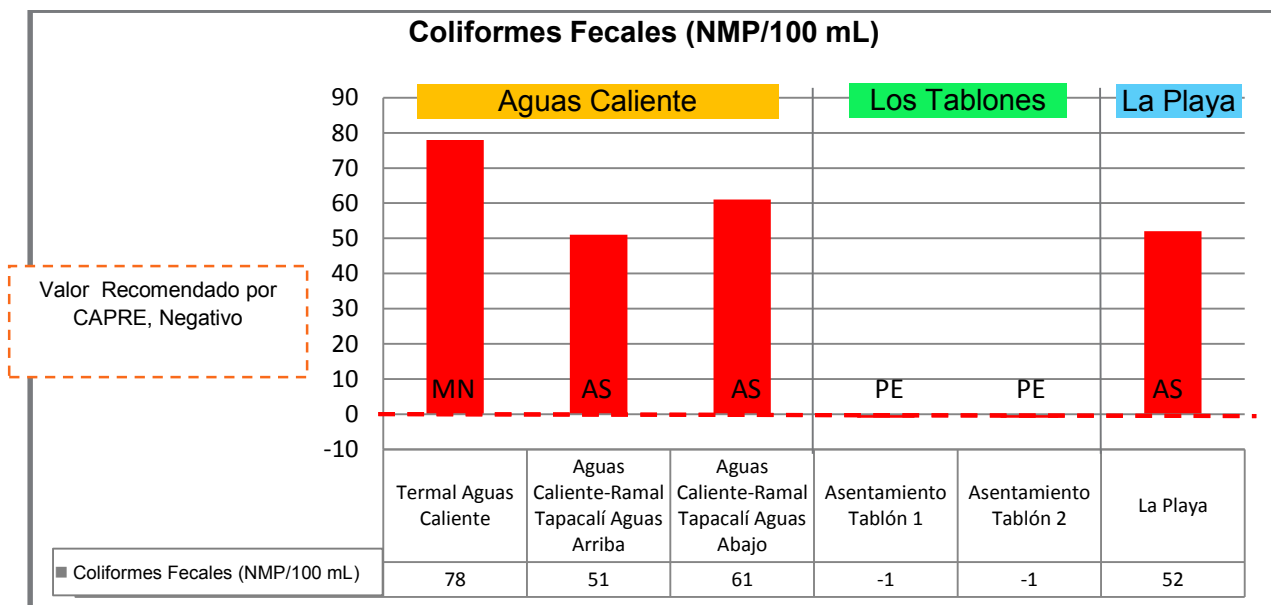


Figura 5.24 Número de Coliformes Fecales.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES

Para determinar la calidad del agua en la comarca Micro Región I, se tomaron en cuenta tres herramientas fundamentales en la determinación de la calidad de las fuentes de agua, dichas herramientas fueron: Norma CAPRE, NTON 05 007 98 e Índice de Calidad de Agua de Dinius (1987).

En la Tabla 5.6 se comparan las zonas muestreadas de forma individual con la norma CAPRE, observándose que las fuentes evaluadas tienen parámetros de calidad que no cumplen con los valores normados por CAPRE. En promedio existen entre cinco a seis parámetros por fuente fuera de los valores recomendados; de los 24 parámetros que fueron medidos para conocer la calidad de agua, 11 parámetros no cumplen con lo estipulado por CAPRE, estos son: temperatura, oxígeno disuelto, color verdadero, turbiedad, pH, cloruros, hierro, plomo, magnesio, amonio y coliformes fecales.

En la misma tabla puede observarse que al comparar los resultados de calidad de agua con la Categoría (Tipo A y B) de la NTON 05 007 98 para fuentes que pueden ser destinadas para el uso doméstico e industrial se encontró que las fuentes tienen que ser tratadas por medio de tratamiento Convencional, FiME y/o Cloración para que puedan ser utilizadas. Todas las aguas pueden ser empleadas para uso agropecuario (Categoría 2) sin necesidad de ser sometidas a un sistema de tratamiento muy elaborado.

En la Figura 5.25 se muestra el cálculo del ICA según Dinius (1987), de cada uno de los sitios de las tres comunidades

En términos de comunidad, los sitios dentro de la comunidad *Aguas Caliente* presentaron índices de calidad de 74,9 en *Termal Aguas Caliente*; 72,7 en *Aguas Caliente Ramal Tapacalí Aguas Arriba* y 73,2 en *Aguas Caliente Ramal Tapacalí Aguas Abajo*, que en promedio representan un ICA de 73,6 para la comunidad de Aguas Caliente.

Según la Tabla 5.8, la calidad el agua de la comunidad *Aguas Caliente* es aceptable; puede ser utilizada para los diferentes usos que se les da a las fuentes hídricas, estas fuentes pueden ser utilizadas sin ningún problema y tal como se encuentran para la recreación y pesca; para el uso agrícola e industrial requieren una ligera potabilización en dependencia del proceso productivo, pero para el abastecimiento publico existe una mayor necesidad de tratamiento debido a que ciertos constituyentes sobrepasaron los valores recomendados por la norma CAPRE, siendo el sitio *Aguas Caliente Ramal Tapacalí Aguas Arriba* el que presentó el ICA más bajo entre las tres comunidades de la comarca, en este sitio 7 parámetros no cumplieron con la norma CAPRE, los cuales fueron físicos: oxígeno disuelto, temperatura, color y turbiedad; químicos: cloruros; metales: hierro y plomo; nutrientes: amonio y coliformes fecales en los microbiológicos.

El índice de calidad de la comunidad *Los Tablones* fue relativamente mejor en aproximadamente 5,8 puntos, con un valor promedio de 79,4 así mismo se puede

observar que dentro de la comunidad los sitios presentan mejores niveles en términos de calidad, los pozos de *Asentamiento Tablón 1 y 2* reafirman la teoría de que las aguas subterráneas al estar protegidas poseen una mejor calidad; aunque están expuestas a la mineralización, dentro de ellas destaca la contaminación por magnesio, asociado a la conductividad y el bajo nivel de oxígeno disuelto en el agua. Aun así, su valor de ICA es muy cercano a 80,0, con lo cual estos dos pozos solo requerirían una ligera potabilización para poder ser utilizados para propósitos de abastecimiento humano (Tabla 5.8).

En la comunidad de La Playa, su único punto registro un índice de calidad de 72,8, valor que se considera como aceptable de forma general, más detalladamente el agua de esta comunidad puede ser utilizada sin ningún problema para fines recreativos, en el caso de la industria existe una ligera necesidad de tratamiento en dependencia de las exigencias de calidad e higiene de los productos, principalmente en la industria alimentaria; en el caso de abastecimiento público este sitio requiere ser sometido a un sistema de tratamiento ligero para que el agua pueda ser destinada para propósitos de consumo.

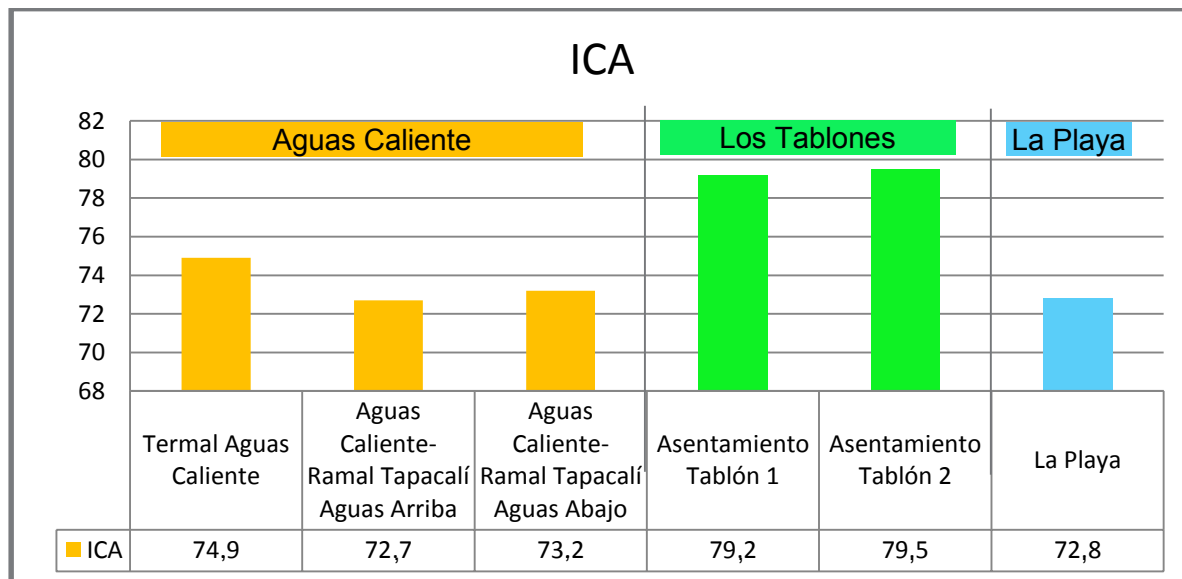


Figura 5.25 Valores de Índice de Calidad de Agua.

El sitio de *La Playa* obtuvo un ICA de 72,8 el segundo más bajo dentro de la comarca Micro Región I, aun así en términos generales el agua se considera como aceptable, pero existe una mayor necesidad de tratamiento para propósitos de consumo humano.

Tabla 5.6 Cantidad de Parámetros que Exceden la Norma CAPRE por Comunidad.								NTON 05 007-98		
Comunidad		Aguas Caliente			Los Tablones		La Playa	CAPRE / OMS / CEE	Aguas Tipo 1 A – B	Aguas Tipo 2 A – B
		Termal Aguas Caliente	Aguas Caliente Arriba	Aguas Caliente Abajo	Asentamiento Tablón 1	Asentamiento Tablón 2	La Playa			
Físicos	Temperatura(°C)			*				18,0-30,0	-	-
	Oxígeno Disuelto (mg/L)				*	*		8,0	> 4,0	> 5,0
	Conductividad (µS/cm)				*	*		400,0	-	-
	Sólidos Totales Disueltos (µS/cm)							1 000	1 000 (A), 1 500 (B)	3 000
	Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	*	*	*	*	*	*	1,0	< 15,0 (A), < 150,0 (B)	-
	Turbiedad (NTU)	*	*	*	*	*	*	1,0	< 5,0 (A), < 250,0 (B)	-
Químicas	pH				*			6,5-8,5	6,0 - 8,5	-
	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)							400,0	400,0	-
	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)							-	-	-
	Calcio (mg/L Ca ²⁺)							100,0	-	
	Magnesio (mg/L Mg ²⁺)				*	*		30,0	-	0,5
	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)							25,0	250,0 (A), 400,0 (B)	-
	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	*	*	*			*	25,0	250,0 (A), 600,0 (B)	-
	Fluoruros (mg/L F ⁻)							0,7-1,5	0,7-1,5 (A), < 1,7 (B)	-
Metales	Aluminio (mg/L Al)							0,2	-	1,0
	Hierro (mg/L Fe)			*				0,3	0,3 (A), 3,0 (B)	1,0
	Arsénico (µg/L As)							10,0	-	5,0
	Plomo (µg/L Pb)		*	*			*	10,0	10,0 (A), 50,0 (B)	>50,0
Nutrientes	Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)							25,0	NO ₂ +NO ₃ = 10,0	-
	Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)							0,1		-
	Amonio(mg/L NH ₄ ⁺)	*					*	0,05	-	-
	Fósforo (mg/L P)							-	-	-
Microbiológicos	CF (NMP/100 mL)	*	*	*			*	Negativo	< 2 000 (A), < 10 000 (B)	-
		5	5	7	6	5	6			

■ Comunidad presenta concentración que sobrepasa el valor de norma CAPRE.

Ahora que se han comparado los resultados obtenidos con la norma CAPRE, NTON 05 007 98 e índices de calidad es notable que las comunidades requieran de procesos de potabilización para poder ser destinadas para propósitos de abastecimiento para consumo humano.

Tabla 5.7 Fórmulas para el Cálculo de la Función Subíndice por Comunidad.

Parametro	Función del Subíndice (I)	Aguas Caliente	Tablones	La Playa
Coliformes Fecales	$I_{Colif} = 106(CF)^{-0,1286}$	62,18	106,00	63,77
OD % Sat	$I_{OD} = 0,82(OD) + 10,56$	15,89	13,23	16,55
DBO ₅	$I_{DBO5} = 108(DBO_5)^{-0,3494}$	-	-	-
Coliformes Totales	$I_{ColiT} = 136(CT)^{-0,1311}$	78,95	136,00	81,02
Nitratos	$I_{NO3} = 125(NO_3)^{-0,2713}$	88,93	82,32	68,59
Conductividad	$I_{Cond} = 506(Cond)^{-0,3315}$	85,75	63,76	82,11
Temperatura	$I_{Temp} = 10^{2,004 - 0,0382\Delta T}$	100,00	90,42	77,52
pH	Si pH < 6,9 $I_{pH} = 10^{0,6903 + 0,1856(pH)}$	-	-	-
	Si 6,9 ≤ pH ≤ 7,1 $I_{pH} = 100$	-	-	-
	Si pH > 7,1 $I_{pH} = 10^{3,65 - 0,2216(pH)}$	105,00	54,10	107,7
Cloruros	$I_{Cl} = 391(Cl)^{-0,3483}$	122,20	142,30	122,20
Dureza	$I_{Dur} = 552(Dur)^{-0,4488}$	66,44	44,73	66,44
Alcalinidad	$I_{Alc} = 110(Alc)^{-0,1342}$	56,60	51,14	56,35
Color	$I_{Color} = 127(Color)^{-0,2394}$	47,39	80,26	85,98

Tabla 5.8 Escala de Clasificación del ICA en Función del Uso por Comunidad.

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación
95					
90					
85	Aceptable	Ligera Purificación			Ligera purificación para algunos procesos
80					
75					
70	Poco contaminado	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Aceptable excepto para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal
65					
60					
55	Contaminado	Dudoso	Dudoso para el contacto directo	Solo organismos resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
50					
45					
40	Altamente Contaminado	No Aceptable	Sin contacto con el agua	No aceptable	Uso restringido
35					
30					
25			Señal de contaminación		
20					
15					
10			No aceptable		
5					
0					

● Aguas Caliente ○ Tablones ● La Playa

5.3 DISEÑO TECNOLÓGICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (FIME)

5.3.1 Determinación de la Población y el Caudal de Diseño

Uno de los aspectos más importantes en el dimensionamiento de los equipos de una planta potabilizadora es conocer la cantidad de personas a las cuales se va a abastecer con el servicio o demanda de agua para la comunidad.

El análisis de la demanda de agua se realiza con ayuda de los censos poblacionales y proyecciones del INIDE y en casos que no se cuenta con dicha información también se puede recurrir al uso de la información del Consejo Supremo Electoral (CSE).

En la Sección 3.4 se abordó que la población en la comarca Micro Región I del año 2004 fue de 2 155 personas, de estas sólo interesan las personas ubicadas en las Comunidades de Aguas Caliente 31 habitantes; La Playa 1 175 habitantes y El Tablón con 180 habitantes que en total representan un 64,3% del total de la población de la comarca Micro Región I.

Ahora bien; es necesario conocer la población a futuro en cada una de las tres comunidades, para esto es necesario el uso de la siguiente formula.

$$P_f = P_o(1 + i)^n \quad (5.1)$$

Dónde:

P_f es la población futura

P_o es la población actual

i es el porcentaje de crecimiento

N es el número de años

Además de conocer la población futura a la cual se le suministrará el agua, también es necesario seleccionar la dotación que será destinada a cada uno de los habitantes, esto se hace mediante el uso de la Tabla 5.9 (SNIP, 2012). Se observa que en ninguno de los tres sitios la población es mayor de 5 000 habitantes, por lo tanto la dotación para cada uno de los tres sitios será de 75 L /hab-d.

El porcentaje de crecimiento según INIDE, (2008) para San Lucas es del 1% hasta el año 2020; pero INAA, (2008) recomienda un porcentaje de crecimiento del 2,5% para el mismo periodo como medida de seguridad, en vista de esa información se trabajó con el porcentaje propuesto por INAA.

El proyecto está destinado para un periodo de 10 años comprendidos entre el año 2014 al 2024 (SNIP, 2012) (Ver Tabla 5.11).

Tabla 5.9 Dotación de Agua Potable para Consumo Doméstico.

Rango de Población	Dotación	
	gal/hab-d	L/hab-d
0 a 5 000	20	75
5 000 a 10 000	25	95
10 000 a 15 000	30	113
15 000 a 20 000	35	132
20 000 a 30 000	40	151
30 000 a 50 000	45	170
50 000 a 100 000 +	50	189

Tabla 5.10 Dotación Para Usos no Domésticos.

Otros Consumos	Porcentaje
Comercial	7
Público e Institucional	7
Industrial	2
Otros Usos	2
Fugas	15

Después de calcular la población futura con la Ecuación 5.1; se procedió a seleccionar la dotación para usos domésticos (Tabla 5.9) y para usos no domésticos (Tabla 5.10).

El caudal de diseño se calcula por medio del: caudal promedio diario (CPD); caudal promedio diario total (CPDT); consumo máximo día (CMD) y consumo máximo hora (CMH).

$$CPD = (dp * P_f) + CI + CC + CP + OU \quad (5.2)$$

$$CPDT = (fugas) + CPD \quad (5.3)$$

$$CMD = 1,5 * CPDT \quad (5.4)$$

$$CMH = 2,5 * CPDT \quad (5.5)$$

Dónde:

- dp es la dotación per cápita
- CI es el consumo industrial
- CC es el consumo comercial
- CP es el consumo público
- OU son otros usos

CPDT toma en cuenta las pérdidas ocasionadas por la fricción, las cuales se estiman en 20% del CPD. CMD es el mayor caudal registrado en un año de consumo, por su parte el CMH es el mayor caudal registrado en una hora de consumo.

Tabla 5.11 Proyección Poblacional y Caudal de Diseño.

Parámetro	Comunidades			Parámetro	Comunidades		
	Aguas Caliente	Los Tablones	La Playa		Aguas Caliente	Los Tablones	La Playa
P _o (hab)	31	180	1 175	CPD (m ³ /s)	5,22 x 10 ⁻⁵	3,02 x 10 ⁻⁴	1,97 x 10 ⁻³
P _f (hab)	51	295	1 926	CPDT(m ³ /s)	6,29 x 10 ⁻⁵	3,63 x 10 ⁻⁴	2,37 x 10 ⁻³
i (%)	2,5	2,5	2,5	CMD (m ³ /s)	9,40 x 10 ⁻⁵	5,44 x10 ⁻⁴	3,55 x 10 ⁻³
n (años)	20	20	20	CMH (m ³ /s)	1,57 x 10 ⁻⁴	9,06 x 10 ⁻⁴	5,92 x 10 ⁻³

5.3.2 Dimensionamiento de los Equipos

AGUAS CALIENTE

Según la metodología planteada por (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005) discutida en el Capítulo 4, Tabla 4.6, Figura 4.4 y proyección poblacional. El sistema de tratamiento óptimo para las condiciones de contaminación registradas en la comarca Micro Región I, comunidad de Aguas Calientes es un sistema de filtros en múltiples etapas (FiME), el cual constará de dos Filtros de Dinámicos (FE_{2,0}), con velocidad de filtración de 2,0 m/h y dos Filtros Lentos de Arena (FLA_{0,15}), con una velocidad de 0,15 m/h, finalmente se aplicará cloro como barrera de seguridad (Tabla 5.12 y Figura 5.26).

Tabla 5.12 Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FiME en Aguas Caliente.

Turbiedad (NTU) Color Real (UC) Coliformes Fecales (UFC/100)	< 10,0 (4,6)	10,0 – 20,0	20,0 – 50,0	50,0 – 70,0
	< 20,0 (11,3)	20,0 – 30,0	30,0 – 40,0	30,0 – 40,0
< 500,0 (78)	Sin FGA	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}
500 - 10 000	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}
10 000 - 20 000 (*)	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}

Fuente: (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

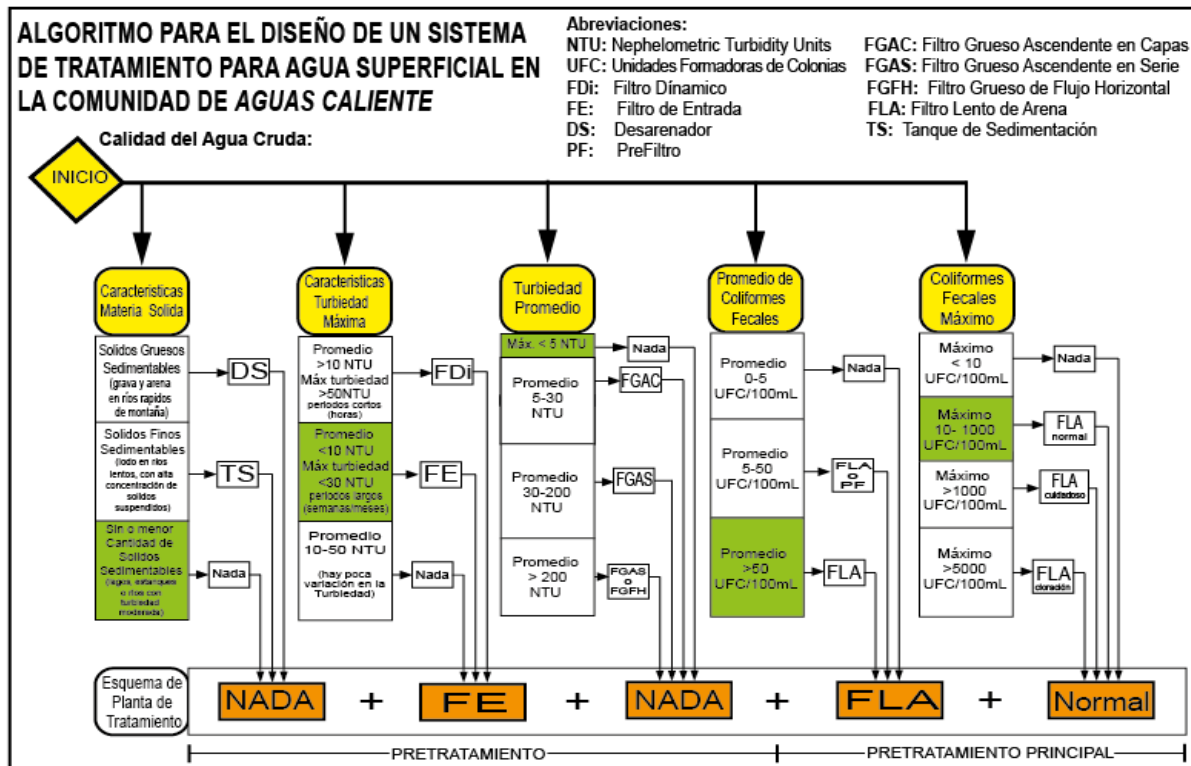


Figura 5.26 Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Superficial para la Comunidad de Aguas Caliente.

LOS TABLONES

En el caso de las fuentes de la comunidad Los Tablones que muestra contaminación física y química, el sistema propuesto de tratamiento consistirá de dos Filtros Dinámicos (FE_{2,0}) con velocidad de 2,0 m/h, un aireador de bandejas para aumentar la concentración de oxígeno en el agua, con una carga hidráulica de 550 m/d, dos Filtros Lentos (FLA_{0,15}) con velocidades de 0,15 m/h y un equipo de cloración para eliminar los patógenos (Tabla 5.13 y Figura 5.27).

Tabla 5.13 Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FiME, Los Tablones.

Turbiedad (NTU) Color Real (UC)	< 10,0 (5,1)	10,0 – 20,0	20,0 – 50,0	50,0 – 70,0
Coliformes Fecales (UFC/100)	< 20,0 (6,9)	20,0 – 30,0	30,0 – 40,0	30,0 - 40,0
< 500,0 (Negativo)	Sin FGA	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}
500,0 - 10 000	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}
10 000 - 20 000 (*)	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,30}

Fuente: (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

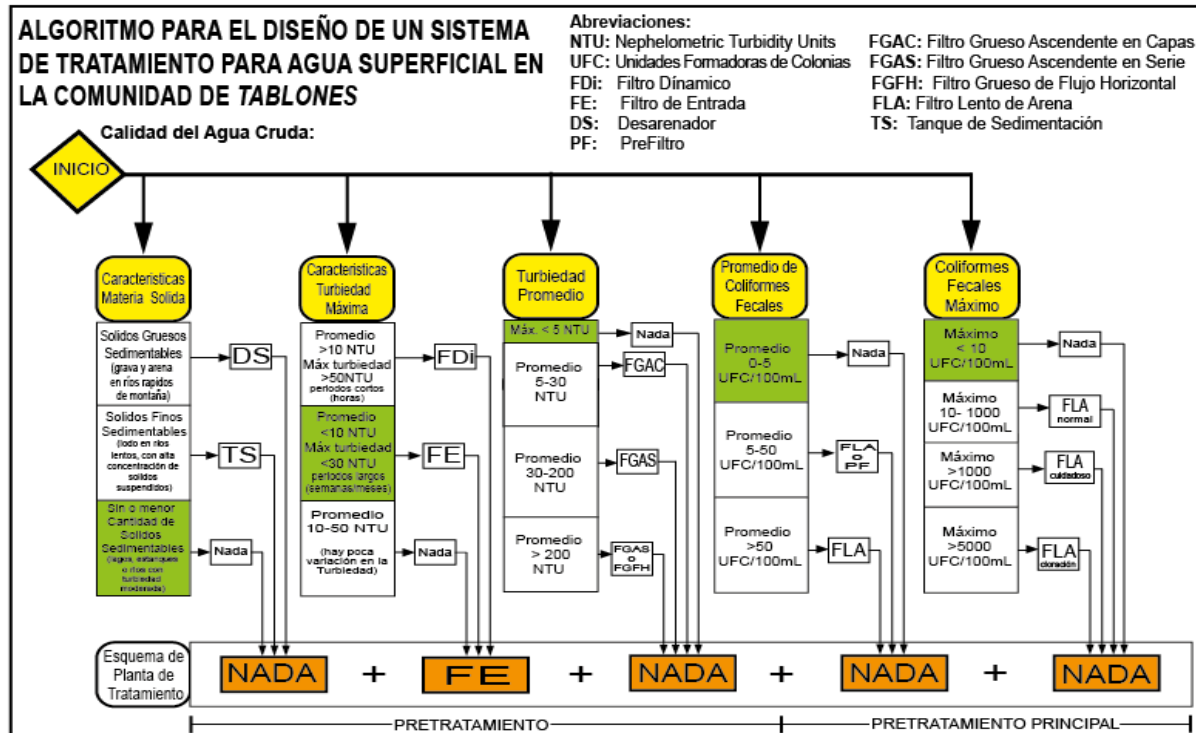


Figura 5.27 Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Superficial para la Comunidad Los Tablones.

LA PLAYA

Para el caso de la comunidad La Playa el tren de tratamiento consistirá en un sistema FIME el cual constará de dos Filtros de Dinámicos (FE_{2,0}), con velocidad de filtración de 2,0 m/h y dos Filtros Lentos de Arena (FLA_{0,15}), trabajando a una velocidad de 0,15 m/h, finalmente se le aplicará cloro para eliminar cualquier amenaza microbiológica existente (Figura 5.28 y Tabla 5.14).

Tabla 5.14 Modelo para la Selección de un Sistema de Tratamiento de Agua FiME, La Playa.

	Turbiedad (NTU) Color Real (UC)	< 10,0 (1,4) < 20,0 (5,1)	10,0 – 20,0	20,0 – 50,0	50,0 – 70,0
Coliformes Fecales (UFC/100)					
< 500,0 (52)		Sin FGA	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,30}
500,0 - 10 000		FGAC _{0,60}	FGAC _{0,60}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,30}
10 000 - 20 000 (*)		FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,30}

Fuente: (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

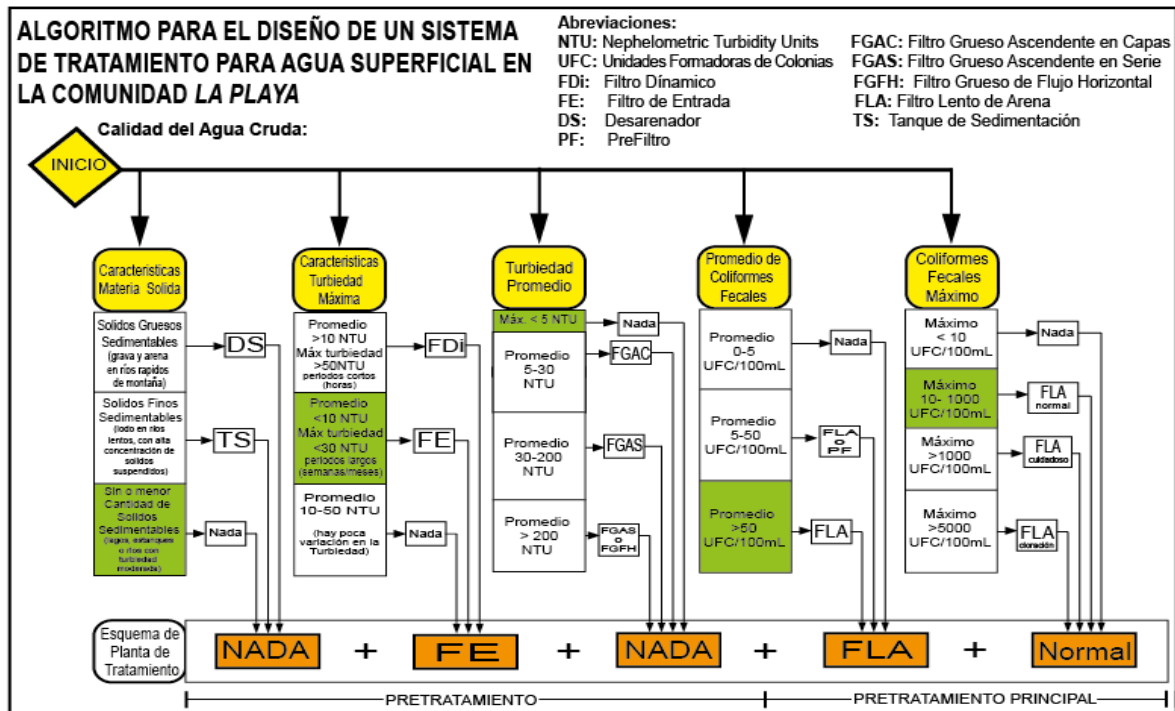


Figura 5.28 Algoritmo para el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Superficial para Comunidad La Playa.

En las Figuras 5.29, 5.30 y 5.31 se muestran los isométricos de los siguientes equipos: Filtro Grueso Dinámico, Filtro Lento de Arena y un Aireador de Bandejas.

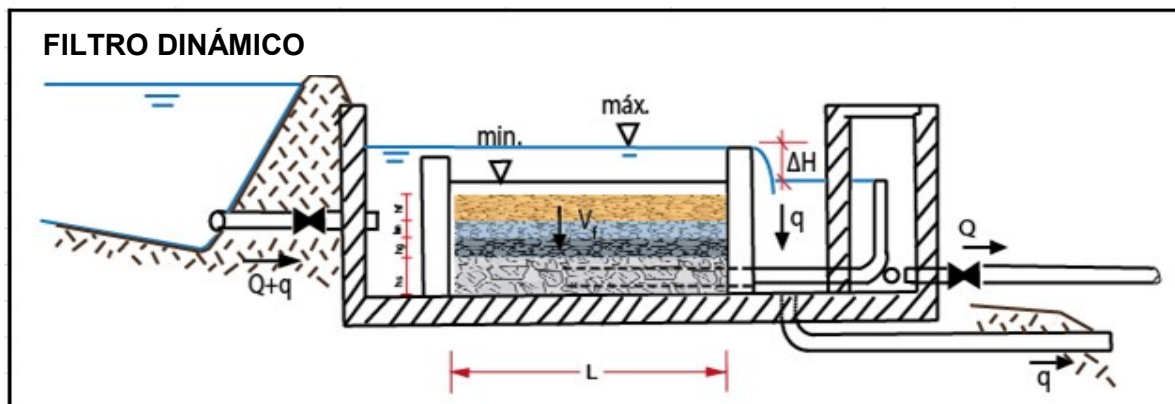


Figura 5.29 Isométrico del Filtro Dinámico.

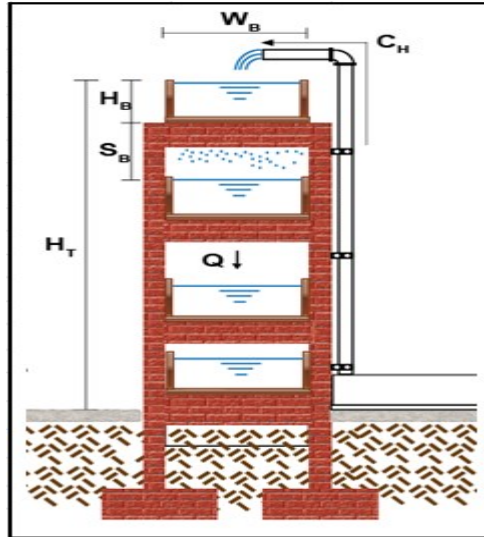


Figura 5.30 Isométrico del Aireador de Bandejas.

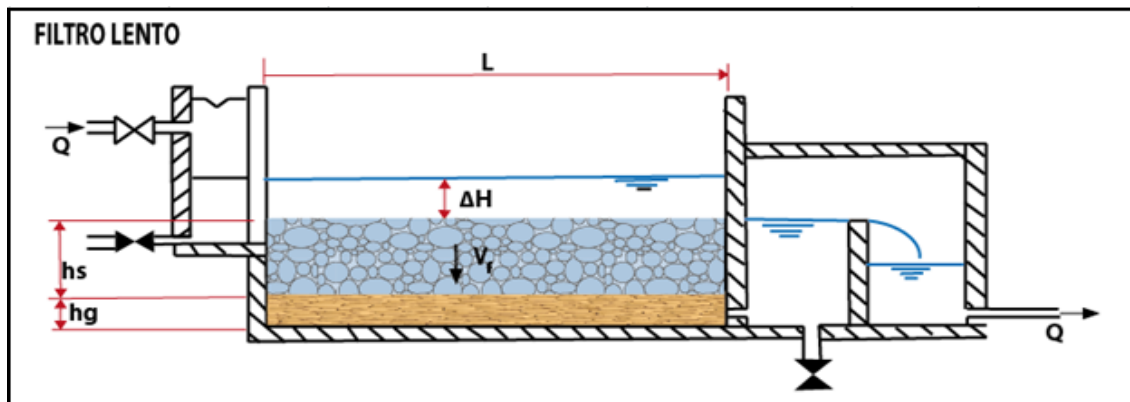


Figura 5.31 Isométrico del Filtro Lento de Arena (FLA).

5.3.3 Dimensionamiento de las Unidades

AGUAS CALIENTE

En la comunidad de Aguas Caliente se localizan tres sitios que por su potencial han sido utilizados por la población para abastecerse de agua y usos agropecuarios. Ésta comunidad contará con una población futura de 51 habitantes para el año 2024, por su parte INAA (2008), asegura que el porcentaje de crecimiento poblacional para ese periodo será del 2,5% (Tabla 5.11).

El caudal máximo hora requerido para satisfacer la demanda es de $1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, con una dotación individual de $0,075 \text{ m}^3/\text{hab-d}$; dotación de agua potable para consumo doméstico para poblaciones menores a 5 000 personas (Tabla 5.9).

Según Obando (2005), las fuentes superficiales de Aguas Caliente Ramal Tapacalí Aguas Arriba y Abajo cuentan con un caudal promedio en temporada seca de 0,021 m³/s y el Termal Aguas Caliente cuenta con un caudal de $4,04 \times 10^{-3}$ m³/s aproximadamente, con base en esta información se trabajará en un sistema de tratamiento que se abastecerá del Termal Aguas Caliente en vista que este sitio presento el mayor ICA de los tres puntos y su caudal es suficiente para abastecer a la población.

Filtro Dinámico

Tabla 5.15 Variables de Diseño de un Filtro Dinámico en Aguas Caliente (FGDi).

Dimensionamiento de Filtro Dinámico, Aguas Caliente			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal Máximo Hora	CMH	m ³ /s	$1,57 \times 10^{-4}$
Caudal Total (CMH*R+CMH)	Q _T	m ³ /s	$3,61 \times 10^{-4}$
Razón de Flujo	R	-	1,30
Área Total	A _T	m ²	0,65
Área Individual	A _i	m ²	0,33
Altura del Filtro (H _{ls} +H _{lf} +H _{bl})	H _f	m	1,10
Altura de Lecho Soporte	H _{ls}	m	0,30
Altura del Medio			
Filtrante(h _f +h _m +h _g)	H _{lf}	m	0,60
Fina	h _f	m	0,20
Media	h _m	m	0,20
Gruesa	h _g	m	0,20
Borde Libre	H _{bl}	m	0,20
Largo	L	m	1,21
Ancho	W	m	0,40
Velocidad de Filtración	V _f	m/h	2,00

La memoria de cálculo para el dimensionamiento del filtro dinámico, filtro lento y tanque de almacenamiento se detalla en el Anexo E, así mismo los esquemas isométricos de cada una de las unidades se detallan en el Anexo I.

Filtro Lento de Arena (FLA)

Tabla 5.16 Variables de Diseño de Filtro Lento de Arena en Aguas Caliente (FLA).

Dimensionamiento de Filtro Lento de Arena, Aguas Caliente			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal Máximo Hora	CMH	m ³ /s	1,57 x 10 ⁻⁵
Velocidad de Filtración	V _f	m/h	0,15
Área Total	A _T	m ²	3,74
Número de Filtros	N	-	2,00
Área Individual	A _i	m ²	1,87
Caudal Individual (CMH/N)	Q _i	m ³ /s	7,85 x 10 ⁻⁵
Coeficiente de Mínimo Costo	k	-	1,33
Largo	L	m	1,58
Ancho	W	m	1,13
Diámetro Efectivo	d _e	mm	0,15
Altura de Filtro(H _{bl} +H _{as} +H _{ls} +H _{lf})	H _f	m	2,70
Altura Borde Libre	H _{bl}	m	0,20
Altura Agua Sobrenadante	H _{as}	m	1,30
Altura Lecho de Soporte	H _{ls}	m	0,20
Altura de Lecho de Arena	H _{lf}	m	1,00

Tanque de Aguas Claras

Tabla 5.17 Variables de Diseño de Tanque en Aguas Caliente (Tk).

Dimensionamiento de Tanques, Aguas Caliente			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Tanque de Distribución			
Volumen (0,4*CMH*t)	V _{TD}	m ³	0,45
Área	A _{TD}	m ²	0,50
Altura	H _{TD}	m	0,90

LOS TABLONES

La comunidad de Los Tablones demandará un caudal máximo hora de 9,06x10⁻⁴ m³/s para satisfacer la demanda futura de sus 295 habitantes para el año 2024, con una tasa de crecimiento poblacional del 2,5% y una dotación de 0,075 m³/hab-d establecida para poblaciones menores a los cinco mil habitantes (INIDE, 2008).

En la actualidad los pozos cuentan con un volumen de 40 m³ en Tablón 1, con un tiempo de recarga de 7 horas con 24 minutos y 50 m³ Tablón 2 con un tiempo de recarga de 9 horas con 12 minutos. El pozo del Tablón 1 cuenta con un caudal de 1,50 x 10⁻³ m³/s y el Tablón 2 con un caudal de 1,51 x 10⁻³ m³/s (UNICEF & INPRHU, 2009).

La demanda futura de agua puede ser satisfecha con el caudal de cualquiera de los dos pozos; pero se trabajara solamente con el pozo Tablón 2, porque presento un ICA ligeramente mayor y muy cercano a 80, asimismo el pozo Tablón 1 podría ser utilizado para emergencias futuras, debido a que se puede brindar tratamiento con el mismo sistema propuesto para el pozo de Tablón 2.

Filtro Dinámico

Tabla 5.18 Variables de Diseño de un Filtro Dinámico, Los Tablones (FGDi).

Dimensionamiento de Filtro Dinámico, Los Tablones			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal Máximo Hora	Q	m ³ /s	9,06 x 10 ⁻⁴
Caudal Total (CMH*R+CMH)	Q _T	m ³ /s	2,08 x 10 ⁻³
Razón de Flujo	R	-	1,30
Área Total	A _T	m ²	3,75
Área Individual	A _i	m ²	1,88
Altura del Filtro (H _{is} +H _{if} +H _{bl})	H _f	M	1,10
Altura de Lecho Soporte	H _{is}	M	0,30
Altura del Medio Filtrante (h _f +h _m +h _g)	H _{if}	M	0,60
Fina Media Gruesa	h _f	M	0,20
	h _m	M	0,20
	h _g	M	0,20
Borde Libre	H _{bl}	M	0,20
Largo	L	M	1,58
Ancho	W	M	0,79
Velocidad de Filtración	V _f	m/h	2,00

Aireador

Tabla 5.19 Variables de Diseño de un Aireador en Bandejas, Los Tablones.

Dimensionamiento del Aireador, Los Tablones			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal Máximo Hora	CMH	m ³ /d	78,32
Carga Hidráulica	C _H	m/d	550
Largo de Bandejas	L _B	m	0,32
Ancho de Bandejas	W _B	m	0,15
Área Total de Bandejas	A _T	m ²	0,14
Altura Total	H _A	m	1,20
Número de Bandejas	N _B	-	3,00
Separación entre Bandejas	S _B	m	0,40

Filtro Lento de Arena

Tabla 5.20 Variables de Diseño Filtro Lento de Arena en Los Tablones (FLA).

Dimensionamiento de Filtro Lento de Arena, Los Tablones			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal Máximo Hora	Q	m ³ /s	9,06 x 10 ⁻⁴
Velocidad de Filtración	V _f	m/h	0,15
Área Total	A _T	m ²	21,57
Número de Filtros	N	-	2,00
Área Individual	A _i	m ²	10,79
Caudal Individual (CMH/N)	Q _i	m ³ /s	4,53 x 10 ⁻⁴
Coeficiente de Mínimo Costo	k	-	1,33
Largo	L	m	3,79
Ancho	W	m	2,85
Diámetro Efectivo	d _e	mm	0,15
Altura de Filtro (H _{bl} +H _{as} +H _{ls} +H _{la})	H _f	m	2,70
Altura Borde Libre	H _{bl}	m	0,20
Altura Agua Sobrenadante	H _{as}	m	1,30
Altura Lecho de Soporte	H _{ls}	m	0,20
Altura de Lecho de Arena	H _{la}	m	1,00

Tanque de Aguas Claras

Tabla 5.21 Variables de Diseño de Tanques en Los Tablones (Tk).

Dimensionamiento de Tanques, Los Tablones			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Tanque de Distribución			
Volumen (0,4*CMH*t)	V _{TD}	m ³	2,61
Área	A _{TD}	m ²	1,54
Altura	H _{TD}	m	1,70

La memoria de cálculo para el dimensionamiento del filtro dinámico, filtro lento, aireador y tanque de almacenamiento se detalla en el Anexo E, así mismo los esquemas isométricos de cada una de las unidades se detallan en el Anexo I.

LA PLAYA

En la comunidad La Playa es donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de personas y por lo tanto demandará la mayor cantidad de agua. El caudal necesario para satisfacer la demanda futura de las 1 926 personas proyectadas para el año 2024 será de: 5,92x10⁻³ m³/s, con una dotación de 0,075 m³/hab-d de acuerdo a lo establecido por SNIP en el año 2012 para poblaciones menores a los cinco mil habitantes. Asimismo INAA (2008) asigna una tasa de crecimiento poblacional del 2,5% para periodos posteriores al 2010 (Tabla 5.9).

El caudal de la fuente superficial de *La Playa* en el periodo seco fue de 0,120 m³/s caudal suficiente para satisfacer la demanda de agua de la zona (Obando, 2005).

Filtro Dinámico

Tabla 5.22 Variables de Diseño de un Filtro Dinámico, La Playa (FGDi).

Dimensionamiento de Filtro Dinámico, La Playa				
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor	
Caudal Máximo Hora	CMH	m ³ /s	5,92 x 10 ⁻³	
Caudal Total (CMH*R+CMH)	Q _T	m ³ /s	0,014	
Razón de Flujo	R	-	1,30	
Área Total	A _T	m ²	25,23	
Área Individual	A _i	m ²	8,41	
Altura del Filtro (H _{ls} +H _{lf} +H _{bl})	H _f	m	1,10	
Altura de Lecho de Soporte	H _{ls}	m	0,30	
Altura del Medio Filtrante (h _m +h _f +h _g)	H _{lf}	m	0,60	
	Fina	h _f	m	0,20
	Media	h _m	m	0,20
	Gruesa	h _g	m	0,20
Borde Libre	H _{bl}	m	0,20	
Largo	L	m	5,00	
Ancho	W	m	1,67	
Velocidad de Filtración	V _f	m/h	2,00	

Filtros Lentos de Arena (FLA)

Tabla 5.23 Variables de Diseño de un Filtro Lento de Arena, La Playa (FLA).

Dimensionamiento de Filtro Lento de Arena, La Playa			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal Máximo Hora	CMH	m ³ /s	5,92 x 10 ⁻³
Velocidad de Filtración	V _f	m/h	0,15
Área Total	A _T	m ²	141
Número de Filtros	N	-	2,00
Área Individual (A _T /N)	A _i	m ²	70,50
Caudal Individual (CMH/N)	Q _i	m ³ /s	2,96 x 10 ⁻³
Coeficiente de Mínimo costo	k	-	1,33
Largo	L	m	9,68
Ancho	W	m	7,28
Diámetro Efectivo	d _e	mm	0,15
Altura de Filtro (H _{bl} +H _{as} +H _{is} +H _{la})	H _f	m	2,70
Altura Borde Libre	H _{bl}	m	0,20
Altura Agua Sobrenadante	H _{as}	m	1,30
Altura Lecho de Soporte	H _{is}	m	0,20
Altura de Lecho de Arena	H _{la}	m	1,00

Tanque de Aguas Claras

Tabla 5.24 Variables de Diseño de Tanques en La Playa (Tk).

Dimensionamiento de Tanques, La Playa			
Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Tanque de Distribución			
Volumen ($0,4 \cdot CMH \cdot t$)	V_{TD}	m^3	17,50
Área	A_{TD}	m^2	7,10
Altura	h_{TD}	m	2,40

La memoria de cálculo para el dimensionamiento del filtro dinámico, filtro lento y tanque de almacenamiento se detalla en el Anexo E, así mismo los esquemas isométricos de cada una de las unidades se detallan en el Anexo I.

5.4 ANÁLISIS OBSERVACIONAL DE VULNERABILIDAD

En el Capítulo 4, se abordó el concepto de vulnerabilidad definiéndose como la incapacidad o resistencia, cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de haber ocurrido un desastre.

Así mismo se estableció que para evaluar la vulnerabilidad se utilizarían dos matrices de análisis de vulnerabilidad, la primera consiste en el análisis económico cuyo objetivo es evaluar aspectos como: nivel de pobreza, nivel de analfabetismo, escolaridad, propiedad de la vivienda, entre otras y el análisis social-ambiental que pretende evaluar características como: presencia de enfermedades endémicas; controles familiares de la calidad del agua; prácticas de fecalismo dentro de la población, entre otros.

Los resultados de dichos análisis se observan en la Tabla 5.25, Tabla 5.26 y las matrices de cada comunidad se detallan en el Anexo H.

En términos individuales, se observa que las tres comunidades son muy vulnerables en términos socio-ambientales con valores de 2,20 para Aguas Caliente; 2,30 para Tablones y 2,20 para La Playa.

Al mismo tiempo, son medianamente vulnerables en términos económicos, registrando valores de 1,33 para Aguas Caliente; 1,44 para Tablones y 1,44 para La Playa, vulnerabilidad causada en mayor medida por el nivel de pobreza y la población dependiente de las comunidades.

Tabla 5.25 Análisis Observacional de Vulnerabilidad de las Comunidades en Micro Región I.

Vulnerabilidad Total del Sistema			
Vulnerabilidad	Valoración		
	Aguas Caliente	Tablones	La Playa
Económica	1,33	1,44	1,44
Social-ambiental	2,20	2,30	2,20
Sumatoria de factores:	3,53	3,74	3,64
Vulnerabilidad total promedio:	1,77	1,87	1,82

Tabla 5.26 Análisis Observacional de Vulnerabilidad de las Comunidades.

Clasificación	Valoración
Extremadamente vulnerable	≥ 3
Muy vulnerable	Entre 2 y < 3
Medianamente vulnerable	Entre 1 y < 2
Poco vulnerable	Entre 0 y < 1

Fuente: INAA & COSUDE, 2011 e INIDE, 2008.

6. CONCLUSIONES

- El presente estudio se realizó para valorar la calidad del agua en las comunidades rurales de San Lucas, al norte de Nicaragua en el municipio de Madriz, para ello se seleccionaron seis sitios representativos e importantes para la comunidad.
- Con base en el muestreo realizado en época seca y los análisis de laboratorio de los seis sitios: Termal Aguas Caliente; Aguas Caliente-Ramal Tapacalí Aguas Arriba y Abajo; Asentamiento Tablón 1 y 2 y La Playa, se encontró que en las comunidades existían ciertos parámetros que estaban fuera de los valores recomendados por la norma CAPRE; estos son: temperatura, oxígeno disuelto, color verdadero, turbiedad, pH, cloruros, hierro, plomo, magnesio, amonio y coliformes fecales; siendo necesario brindar tratamiento a las fuentes, para ser utilizadas en propósitos de consumo humano.
- El diagnostico de la calidad del agua en las fuentes arrojo que las fuentes de las comunidades de Aguas Caliente y La Playa son de buena calidad y aceptables para todas las actividades a las cuales puedan ser destinadas, pero con una mayor necesidad de tratamiento en el caso del abastecimiento público. Por su parte la calidad del agua en las fuentes de Los Tablones son de muy buena calidad, estas fuentes pueden ser utilizadas en todas las actividades, en el caso del abastecimiento público solo exigen una ligera purificación.
- Al comparar los resultados con la NTON 05 007 98, se determinó que las fuentes de estas comunidades cumplen con los requisitos para ser utilizadas en usos agropecuarios; según sus datos de calidad, en conjunto las seis fuentes se encuentran en el rango de los valores normados por la Categoría 2A y 2B de la NTON 05 007 98; pero no son aptas para uso doméstico o industrial sin previo tratamiento.
- Los índices de calidad (ICA) se encuentran en el rango de 72,7 a 79,5, por lo cual la utilización de las fuentes es dudosa para consumo sin purificación. La variación estándar del ICA en la Micro Región I fue de 3,2, con lo que se puede concluir que la variación de la calidad con respecto a la fuente es mínima, corroborado por los esquemas propuestos de tratamiento similares.

- El proceso de purificación de estas fuentes consistirá en el uso de tecnología de filtración en múltiples etapas (FiME), con base en que es la más adecuada para disminuir los valores de los parámetros que no cumplen con la norma CAPRE, debido a que es una tecnología eficiente, eficaz y ampliamente utilizada para países en vías de desarrollo, por sus bajos costos de inversión, mantenimiento y operación. El tren de tratamiento estará formado por dos Filtros Dinámicos, dos Filtros Lentos y Desinfección con cloro. En el caso de la comunidad de Los Tablones, además de los equipos mencionados es necesario un equipo de aireación para incrementar la concentración de oxígeno disuelto en el agua.
- Finalmente se calcularon los niveles de vulnerabilidad de las tres comunidades en términos económicos y socio-ambientales. Como resultado se obtuvo que las comunidades son muy vulnerables en términos socio-ambientales; medianamente vulnerables en términos económicos y medianamente vulnerables en términos globales, además existen puntos de mejora que podrían ayudar a disminuir la vulnerabilidad de las comunidades, principalmente en términos socio-ambientales.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un censo poblacional para conocer la población exacta de cada una de las tres comunidades, además de constatar la cantidad de personas que hacen uso de las fuentes y que no pertenecen a dichas comunidades.
- Diseñar los sistemas de filtración a escala de laboratorio; para conocer los verdaderos porcentajes de remoción de cada filtro para cada una de las comunidades.
- Evaluar la vulnerabilidad futura de la cuenca, con el objetivo de determinar las medidas de mitigación y/o prevención de amenazas y riesgos que existan dentro de las cuencas.
- Concientizar a la población para que hagan un uso adecuado de los recursos hídricos, así como la importancia de la protección de los mismos para preservar la calidad de agua y vida de sus consumidores.
- Implementar programas de conservación de zona montañosa; restauración de zonas degradadas que afecten el equilibrio de los ecosistemas y, finalmente, dirigir programas que promuevan el aprovechamiento sustentable ante la necesidad de conservar y rehabilitar los suelos, para evitar y controlar la erosión y favorecer a la recarga de los recursos hídricos.
- Plantear a los encargados de la comunidad la necesidad de diseñar un sistema que permita la recolección y deposición de los residuos sólidos además de la necesidad de letrinas que existe en la zona, para evitar la contaminación antropogénica de las fuentes en las comunidades.
- Finalmente elaborar un estudio financiero y de impacto ambiental, para determinar el costo total de las obras en las tres comunidades y posibles impactos negativos en las zonas de influencia.

8. REFERENCIAS

- Alcaldía de San Lucas. (2012). *Caracterización del municipio de San Lucas*. Madriz.
- Álvarez, L., & López, B. (2013). *Disponibilidad de recursos hídricos en la parte media de la subcuenca "Río Tapacalí"*. Managua.
- American Society of Civil Engineers. (2004). *Advances in water treatment and wastewater treatment*.
- APHA, AWWA & WEF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*.
- AWWA. (1991). *Manual of design for slow sand filtration*. Denver: AWWA.
- AWWA, ASCE. (2005). *Water treatment plant design*. USA: McGraw-Hill.
- Burbano, L., & Sanchez, L. (2005). *Remoción de hierro y manganeso por oxidación-reducción*.
- CAPRE. (1994). *Normas de calidad de agua para consumo humano*. San Salvador.
- Castillo, E., Flores, Y., Peña, E., Davila, R., Castro, M., Ruiz, J., & Castaño, R. (2004). *Estudio de mapificación hidrológica e hidrogeoquímica de la región central de Nicaragua*. Managua, Nicaragua.
- Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Woburn, Massachussets: Butterworth Heinemann.
- Chittaranjan, R., & Ravi, J. (2011). *Drinking water treatment*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Dinius, S.H. (1987). *Design of an index of water quality*. Alabama: Journal of the American Water Resources Association.
- Echeverría Bonilla, J. (2011). *Evaluación de la vulnerabilidad futura del sistema hídrico al cambio climático*. Costa Rica.

Environmental Protection Agency. (26 de July de 1993). *Parameters of water quality. interpretation and standards*. Ireland.

Faust, S.D., & Aly, O.M. (2010). *Chemistry of water treatment*.

Galvis, G. (1999). *Development and evaluation of multistage filtration plants*. Guildford.

García. I. (2013). *Filtración en multiple etapas*.

Gisbert, J. M., Ibáñez Asensio, S., & Moreno, H. (s.f.). *Entisoles*. Valencia.

Global Water Partnership. (2010). *Experiencias de agua potable y saneamiento con enfoque de gestión integrada de recursos hídricos*. Nicaragua.

Gupta, V. (2013). *Environmental water advances in treatment, remediation and recycling*. Amsterdam: Elsevier B.V.

Howe, K.J., Hand, D.W., Crittenden, J.C., Rhodes Trussel, R., & Tchobanoglous, G. (2012). *Principles of water treatment*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

INAA. (s.f.). *Abastecimiento de agua potable*. Managua, Nicaragua.

INAA & COSUDE. (2011). *Guía para la reducción de la vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento*. Nicaragua.

INIDE. (2008). *Las Sabanas en cifras*. Madriz.

INIDE. (2008). *San Lucas en cifras*. Madriz.

Lawrence, W.K., Yung-Tse, H., & Nazih., S. (2006). *Advanced physicochemical treatment processes*. Totowa: Humana Press Inc.

LeChevallier, M.W., & Au, K.K. (2001). *Water treatment and pathogen control*. Cornwall. UK: IWA.

Lin, S.D. (2007). *Water and wastewater calculations manual*. The McGraw-Hill Companies, Inc.

Mackenzie, D.L. (2010). *Water and wastewater engineering design principles and practice*. The McGraw-Hill Companies.

- MARENA. (2010). *Caracterización de la cuenca No. 45 Rio Coco*. Managua.
- MARENA. (2010). *Caracterización de la cuenca No.58 Rio Negro*. Managua.
- Marena & Nuevo Fise. (2012). *Proyecto de adaptación al cambio climatico en el sector de agua y saneamiento en Nicaragua*.
- Matsuo, T., Hanaki, K., Takizawa, S., & Satoh, H. (2001). *Advances in water and wastewater treatment technology*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Mendez Espinal, M.S., & Flores Rugama, M.T. (2004). *Diseño de sistema de abastecimiento de agua potable, comunidad SIRAMA*. Managua, Nicaragua.
- Mendoza Aldana, J. (2010). *Rapid assessment of drinking-water quality in the republic of Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Kevin Farrel, Federico Properzi.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2012). *Metodología de preinversión para proyectos de agua y saneamiento*. Managua, Nicaragua.
- Nollet, L., & De Gelder, L.S. (2014). *Handbook of water analysis*. CRC Press.
- NTON 05 007-98. (1998). *Norma para la clasificación de los recursos hidricos*. Managua, Nicaragua: INAA.
- NTON 09 003-99. (1999). *Normas técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua*. Ministerio de Fomento Industria y Comercio: Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad.
- Nuevo FISE. (2007). *Manual de administración del ciclo del proyecto*. Managua, Nicaragua.
- Nuevo FISE. (2009). *Manual de ejecución de proyectos de agua y saneamiento*. Managua, Nicaragua.
- Obando-Soriano, F.O. (2005). *Situación del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del Río Aguas Caliente*.
- Ocampo-López. (2012). *Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*. Manizales, Colombia.
- OPS, CEPIS & COSUDE. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. Lima, Perú.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. Lima, Perú.

Palacios, J.(2013). *Evaluación de la calidad del agua de la zona alta-Honduras de la sub-cuenca del Río Tapacalí y sus afluentes*.Tesis no publicada. Universidad Centroamericana, UCA. Managua, Nicaragua.

Rahmawati, T. (2009). *Design of multiple tray aerator to reduce iron and manganese at standard water*.

Roberts Alley, E. (2007). *Water quality control handbook*. The McGraw-Hill Companies, Inc.

Sánchez, L., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2007). *Filtración en múltiples etapas*. Colombia.

Sawyer, C., Perry, L., McCarty, & Gene, F. (2000). *Química para ingeniería ambiental*.

Schulz, C.R., & Okun, D.A. (1992). *Surface water treatment for communities in developing countries*. John Wiley & Sons, Inc.

Segura Pérez, D. (2012). *Proyecto de planta potabilizadora para agua potable en cidade velha, cabo verde*. Cabo Verde.

Sincero, A.P., & Sincero, G.A. (2003). *Physical-chemical treatment of water and wastewater*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

SNIP. (2012). *Metodología de preinversión para proyectos de agua y saneamiento*. Managua, Nicaragua.

Spellman, F. (2004). *Mathematics manual for water and wastewater treatment plants operators*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Suárez, P. (2011). *Dinámica de elementos solubles del río Negro y sus relación con los sedimentos fluviales*. Provincia del Chago, Argentina.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H. (2003). *Wastewater engineering treatment and reuse*. The McGraw-Hill Companies, Inc.

Torres, P., Hernán Cruz, C., & Janeth Patiño, P. (2009). *Indices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una Revisión Crítica*. Medellín.

UNICEF., & INPRHU. (2009). *Escuelas y comunidades saludables*. Somoto.

Valenzuela, D. (2003). *Implementación de técnicas de manejo de cuenca en tres comunidades de las microcuencas tributarias del Río Estelí*. Managua.

Wegelin, M. (1996). *Surface Water treatment by roughing filter*. Duebendorf: SKAT.

Worch, E. (2012). *Adsorption technology in water treatment*. Germany: Deutsche Nationalbibliothek.

Fuentes Electrónicas

CEPES. (8 de Noviembre de 2010). *Centro Peruano de Estudios Sociales*. Obtenido de http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf

FAO. (12 de Marzo de 2003). *Food and Agriculture Organization*. Obtenido de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/15254-es.html>

USGS. (13 de Marzo de 2014). *The USGS Water Science School*. Obtenido de The USGS Water Science School: <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>

Anexo A

NTON 05 007 98

A.1 Aguas Tipo 1 Destinadas al Uso Doméstico e Industrial (Potable)

Tabla A.1 Aguas Tipo 1.

Parámetro	Limite o Rango Máximo	
	Categoría 1A	Categoría 1B
Oxígeno Disuelto (OD)	> 4,0 mg/L ^(*)	> 4,0 mg/L ^(*)
DBO ₅ ,	2,0 mg/L	5,0 mg/L
pH	min 6,0 y max 8,5	min 6,0 y max 8,5
Color Real	< 15,0 mg/L Pt-Co	< 150,0 mg/L Pt-Co
Turbiedad	< 5,0 UNT	< 250,0 UNT
Fluoruros	min 0,7 mg/L y max 1,5 mg/L	< 1,7 mg/L
Hierro Total	0,3 mg/L	3,0 mg/L
Mercurio Total	0,001 mg/L	0,01 mg/L
Plomo Total	0,01 mg/L	0,05 mg/L
STD	1 000 mg/L	1 500 mg/L
Sulfatos	250,0 mg/L	400,0 mg/L
Zinc	3,0 mg/L	5,0 mg/L
Cloruros	250,0 mg/L	600,0 mg/L
Coliformes Totales	(**)	(***)
Cianuro Total	0,1 mg/L	
Cobre Total	2,0 mg/L	
Cromo Total	0,05 mg/L	
Detergentes	1,0 mg	
Dispersantes	1,0 mg/L	
Dureza como CaCO ₃	400 mg/L	
Fenoles	0,002 mg/L	
Manganeso Total	0,5 mg/L	
Nitritos y Nitratos	10,0 mg/L	
Plata Total	0,05 mg/L	
Selenio	0,01 mg/L	
Sodio	200 mg/L	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L	
Organoclorados	0,2 mg/L	
Actividad α	0,1 Bq/L ^Φ	
Actividad β	1,0 Bq/L ^Φ	

Fuente: NTON 05 007-98, 1998.

(*)También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe de ser mayor de 50% (**) Promedio mensual menor de 2 000 NMP por cada 100 mL (***) Promedio mensual menor de 10 000 NMP por cada 100 mL Φ Becquerelio por litro.

A.2 Agua Tipo 2, Uso Agropecuario

Tabla A.2 Aguas Tipo 2.

Parámetro	Límite o Rango Máximo	
	Categoría 2A	Categoría 2B
Organismos de Coliformes Fecales	*	**
Organismos de Coliformes Totales	Π	ΠΠ
Aluminio	1,0 mg/L	
Arsénico Total	0,05 mg/L	
Bario	1,0 mg/L	
Boro	0,75 mg/L	
Cadmio	0,005 mg/L	
Cianuro	0,2 mg/L	
Cobre	0,2 mg/L	
Cromo Total	0,05 mg/L	
Hierro Total	1,0 mg/L	
Litio	5,0 mg/L	
Manganeso Total	0,5 mg/L	
Mercurio	0,01 mg/L	
Molibdeno	0,005 mg/L	
Níquel	0,5 mg/L	
Plata	0,05 mg/L	
Plomo	0,05 mg/L	
Selenio	0,01 mg/L	
Sodio	200,0 mg/L	
Sólidos Disueltos Totales	3 000 mg/L	
Sólidos Flotantes	Ausentes	
Vanadio	10,0 mg/L	
Zinc	5,0 mg/L	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L	
Organoclorados	0,2 mg/L	
Actividad α	0,1 Bq/L	
Actividad β	1,0 Bq/L	

Fuente: NTON 05 007 98, 1998.

(*) Promedio mensual menor de 1 000 NMP por cada 100 mL (**) Promedio mensual menor de 5 000 NMP por cada 100 mL (Π) Promedio mensual menor de 100 NMP por cada 100 mL (ΠΠ) Promedio mensual menor de 1 000 NMP por cada 100 mL

A.3 Aguas Tipo 3 Marinas o Medios Costeros Destinados a la Cría y Explotación de Moluscos para su Consumo Humano

Tabla A.3 Aguas Tipo 3.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	> 5,0 mg/L (*)
pH	min 6,5 y max 8,5
Aceites Minerales	0,3 mg/L
Detergentes no Biodegradables	< 1,0 mg/L
Detergentes Biodegradables	< 0,2 mg/L
Residuos de Petróleo, Sólidos Sedimentables y Flotantes	Ausentes
Metales y otras Sustancias Tóxicas	No Detectables (**)
Fenoles y sus Derivados	0,002 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organoclorados	0,2 mg/L
Organismos Coliformes Totales	(***)
Actividad α	0,1 Bq/L
Actividad β	1,0 Bq/L

Fuente: NTON 05 00798, 1998.

A.4 Aguas Tipo 4 Destinadas a Balnearios, Deportes Acuáticos, Pesca Deportiva, Comercial y de Subsistencia

Tabla A.4 Aguas Tipo 4.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Oxígeno Disuelto	> 5,0 mg/L (*)
pH	min 6,5 y max 8,5
Aceites Minerales	0,3 mg/L
Detergentes	< 1,0 mg/L
Sólidos Disueltos	Desviación menor de 33% de la condición natural
Residuos de Petróleo, Sólidos sedimentables y Flotantes	Ausentes
Metales y Otras Sustancias Tóxicas	No detectables (**)
Fenoles y sus Derivados	0,002 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organoclorados	0,2 mg/L
Actividad α	0,1 Bq/L
Actividad β	1,0 Bq/L

Fuente: NTON 05 007 98, 1998.

(*) También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe de ser mayor de 50% (**) Según métodos aprobados por el INAA (***) Promedio mensual menor de 70 NMP por cada 100 mL

A.5 Aguas Tipo 5 Destinadas para Usos Industriales que No Requieren Agua Potable

Tabla A.5 Aguas Tipo 5.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Fenoles y sus Derivados	0,002 mg/L
Aceites y Espumas	Ausentes
Sustancias que Originan Sedimentación de Sólidos y Formación de Lodos	Ausentes

Fuente: NTON 05 007 98, 1998.

A.6 Aguas Tipo 6 Destinadas a la Navegación y Generación de Energía

Tabla A.6 Aguas Tipo 6.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	> 3,0 mg/L

Fuente: NTON 05 007-98, 1998.

Anexo B

Normativa CAPRE

Tabla B.1 Parámetros Bacteriológicos.

Origen	Parámetro	Valor Recomendado	Valor Admisible	Observaciones
A. Todo Tipo de Agua de Bebida	Coliformes Fecales	Negativo	Negativo	-
B. Agua que entra al Sistema de Distribución	Coliformes Fecales	Negativo	Negativo	-
	Coliformes Totales	Negativo	≤ 4	En Muestras no Consecutivas
C. Agua en el Sistema de Distribución	Coliformes Totales	Negativo	≤ 4	En Muestras Puntuales, no debe ser Detectado en el 95% de las Muestras Anuales ^(c)
	Coliformes Fecales	Negativo	Negativo	-

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla B.2 Parámetros Organolépticos.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	1,0	15,0
Turbiedad	UNT	1,0	5,0
Olor	Factor de Dilución	0	2 °C a 12 °C 3 °C a 25 °C
Sabor	Factor de Dilución	0	2 °C a 12 °C 3 °C a 25 °C

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla B.3 Parámetros Físico-Químicos.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	18 °C - 30 °C	-
Concentración de Iones Hidrógeno	Valor pH	6,5 a 8,5	-
Cloro Residual	mg/L	0,5 a 1,0	-
Cloruros	mg/L	25,0	250,0
Conductividad	µS/cm	400,0	-
Dureza	mg/L CaCO ₃	400,0	-
Sulfatos	mg/L	25,0	250,0
Aluminio	mg/L	-	0,2
Calcio	mg/L CaCO ₃	100,0	-
Cobre	mg/L	1,0	2,0
Magnesio	mg/L CaCO ₃	30,0	50,0
Sodio	mg/L	-	200,0
Potasio	mg/L	-	10,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	1 000
Zinc	mg/L	-	3,0

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla B.4 Parámetros para Sustancias No Deseadas.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Nitratos	mg/L	25,0	50,0
Nitritos	mg/L	-	0,1 - 3,0
Amonio	mg/L	0,05	0,5
Hierro	mg/L	-	0,3
Manganeso	mg/L	0,1	0,5
Fluoruro	mg/L	-	0,7 - 1,5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	-	0,05

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla B.5 Parámetros para Sustancias Inorgánicas con Significado para la Salud

Parámetro	Unidad	Valor Máximo Admisible
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,05
Cianuro	mg/L	0,05
Mercurio	mg/L	0,001
Plomo	mg/L	0,01
Antimonio	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,01

Fuente: CAPRE, 1994.

Anexo C

Preservación de Muestras

Tabla C.1 Conservación y Almacenamiento de Muestras para Análisis.

Parámetro	Contenedor	Volumen (mL)	Condiciones	Tiempo
Acidez	P,V(B)	100	Refrigeración	14 d
Alcalinidad	P,V	200	Refrigeración	14 d
Amonio	P,V	500	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 2	28 d
DBO ₅	P,V	1 000	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 3	48 d
Boro	P	100	Ninguna	28 d
Bromuro	P,V	-	Ninguna	28 d
COT	V	100	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 3	(1)
COD	P,V	100	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 3	(1)
Cl ₂ , ClO ₂	P,V	500	-	2 h
Clorofila	P,V	500	Refrigeración y Oscuridad	30 d
Color	P,V	500	Refrigeración y Oscuridad	48 h
Conductividad	P,V	500	Refrigeración y Oscuridad	28 d
Cianuro	P,V	500	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 3	14 d
Fluoruro	P	300	Ninguna	28 d
Grasas	V	1 000	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 3	28 d
Dureza	P,V	100	HNO ₃ , pH < 2	6 m
Ioduro	P,V	500	-	0,5 h
Metales	P,V(2)	-----	HNO ₃ , pH < 2	6 m
Cromo ⁶⁺	P,V(2)	300	Refrigeración	48 h
Mercurio	P,V(2)	500	Refrigeración y HNO ₃ , pH < 2	28 d
Nitrato	P,V	100	Refrigeración y HNO ₃ , pH < 3	48 h
Nitrito	P,V	100	Refrigeración a -20°C	48 h
Nitrógeno Kjeldahl	P,V	500	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 2	28 d
Olor	V	500	Refrigeración	(1)
Compuestos Orgánicos				
Pesticida	V(3), Teflón	-	Añadir Na ₂ SO ₂ O ₃ , si existe Cloro	7 d
Fenoles	P,V	500	Refrigeración y H ₂ SO ₄ , pH < 2	28 d
O ₂	V	300	-	1 h
Ozono	V	1 000	-	(1)
pH	P,V	-	-	(1)
Fosfatos Disueltos	V(2)	100	Filtración, refrigeración a -10°C	48 h
Sílice	P	-	Refrigeración	28 d
Sólidos	P,V	-	Refrigeración	14 d
Sulfato	P,V	-	Refrigeración	28 d
Sulfuros	P,V	100	Refrigeración y 4 gotas de Zn(COOCH ₃) ₂ /100 mL	28 d
Sabor	V	500	-	(1)
Temperatura	P,V	-	-	(1)
Turbidez	P,V	-	Oscuridad	48 h

P: polietileno; V: vidrio; V(B): vidrio borosilicatado; (1): analizar inmediatamente; (2) : enjuague con HNO₃ 1/1; (3): enjuague con el extractante a usar en el análisis.

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2013.

Anexo D

Métodos de Análisis

Color Verdadero

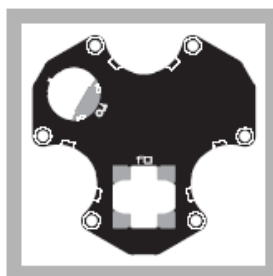
Platinum-Cobalt

Method 8025

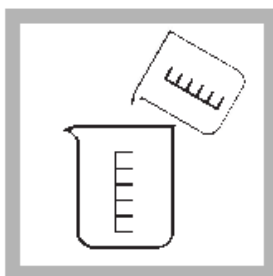


1. Select the test.

NCASI: Use Program 125 for the NCASI test.



2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



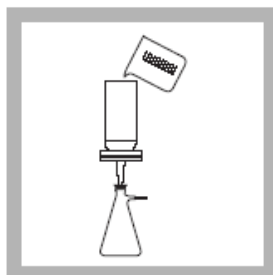
3. Collect 200 mL of sample in a 400-mL beaker.

NCASI: Adjust the pH as described in [Test Preparation](#).

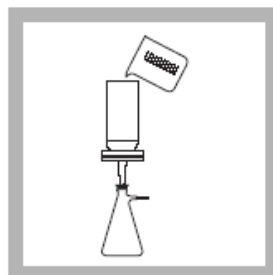


4. Assemble the filtering apparatus (0.45 micron membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator).

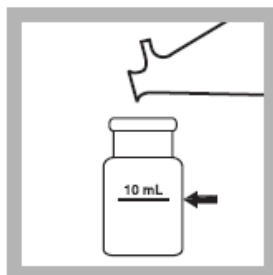
NCASI: Test prescribes a 0.8-micron filter.



5. Rinse the filter by pouring about 50 mL of deionized water through the filter. Discard the rinse water.



6. Pour another 50 mL of deionized water through the filter.

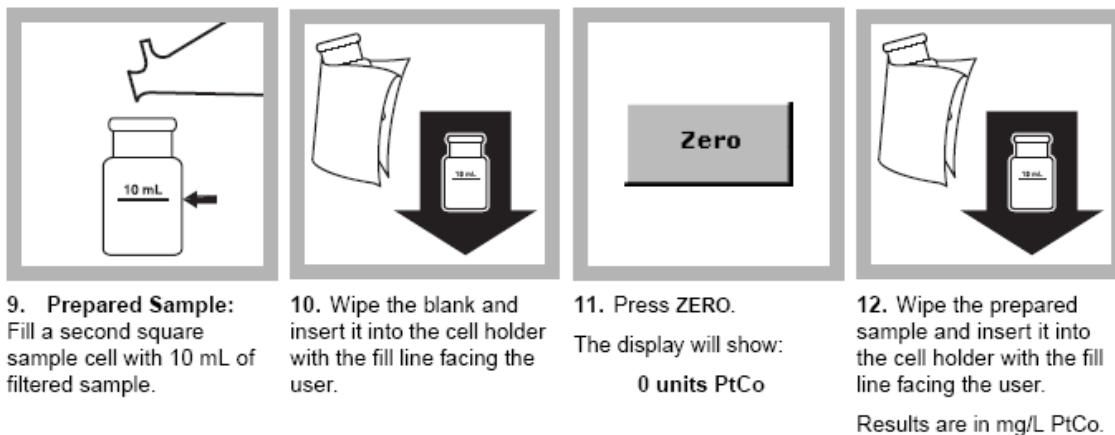


7. **Blank Preparation:** Fill a square sample cell with 10 mL of filtered deionized water from step 6.

Discard the excess water in the flask.



8. Pour about 50 mL of sample through the filter.



Turbiedad (0 a 999 NTU)

Este parámetro es determinado usando el Turbidímetro 2010P “HACH”. Este dispositivo fue previamente calibrado por la fábrica con formazina para la primera vez que debería ser usado. Se recoge la muestra y se coloca en una celda del 2100P hasta la línea (cerca de 15 mL) teniendo cuidado de manipular la celda por la parte superior tapando la celda. A continuación se procede con los siguientes pasos:

- Limpiar la celda con una tela suave y sin hilachas, para quitar gotas de agua y huellas digitales.
- Aplicar una capa fina de aceite de silicona. Limpiar con una tela suave para obtener una capa más fina en toda la superficie.
- Presionar el botón 1/0. El instrumento se enciende, se coloca el instrumento en una superficie plana y firme.
- Se pone la celda de la muestra en el compartimiento del instrumento de tal manera que las marcas de la celda y el compartimiento coincidan.
- Escoger selección de rango manual o automática presionando RANGE, cuando el instrumento está en selección automática de rango la pantalla mostrará: AUTORNG.
- Se selecciona el modo de señal promedio presionando SIGNAL AVERAGE. La pantalla mostrará SIG AVG, cuando el instrumento esté usando promedio de señal. Usar el modo de señal promedio, si la muestra causa una señal ruidosa (la pantalla cambia constantemente).

- Presionar READ. La pantalla mostrará la turbidez en NTU. Apuntar la turbidez después de que se apaga la luz.

Temperatura

Este parámetro se mide en el momento de la toma de las muestras. Usando un termómetro o leyendo el valor en el pH metro "HACH".

pH

Este parámetro es medido en el momento que la muestra fue tomada usando la combinación del método pH electrodo y un medidor portátil EC 10 USEPA. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón dispensador una vez (hasta que haga click).
- Enjuague bien con agua desmineralizada y seque. Poner el electrodo en el contenedor de la muestra.
- Apuntar el valor del pH cuando la pantalla esté estable.
- Enjuagar el electrodo completamente con agua desmineralizada y secarlo bien.

Conductividad

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P "HACH", y es medido en el momento que la muestra fue tomada. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada el electrodo y seque bien.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.
- Anote el valor de conductividad cuando la pantalla es estable.
- Enjuague el electrodo completamente y seque.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

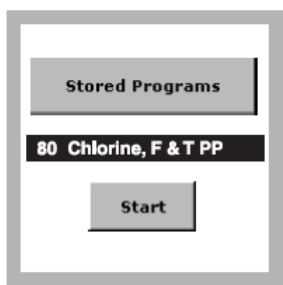
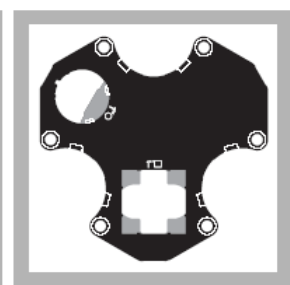
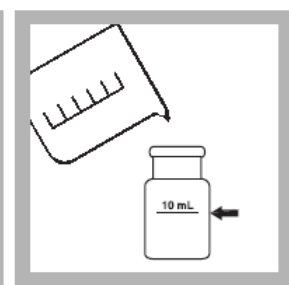

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P “HACH”, y es medido en el momento de la toma de muestra. El procedimiento es el siguiente:

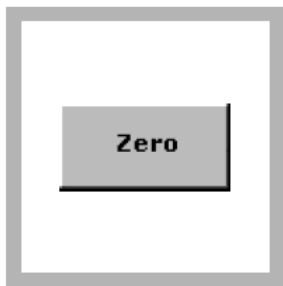
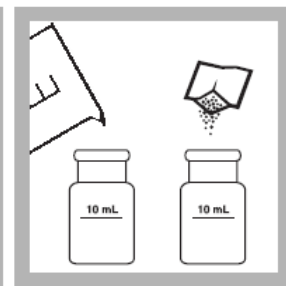
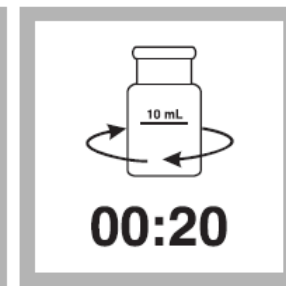

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.
- Anote el valor de STD cuando la pantalla es estable. (La compensación automática de temperatura corrige los cambios de temperatura)
- Enjuague el electrodo y seque.

Cloro Libre

Powder Pillows

Method 8021

			
1. Select the test.	2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.	3. Blank Preparation: Fill a square sample cell with 10 mL of sample.	4. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.

			
5. Press ZERO. The display will show: 0.00 mg/L Cl ₂	6. Prepared Sample: Fill a second square cell with 10 mL of sample. Add the contents of one DPD Free Chlorine Powder Pillow to the sample cell.	7. Swirl the sample cell for 20 seconds to mix. A pink color will develop if chlorine is present. Proceed to step 8 immediately.	8. Within one minute of adding the reagent, insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L Cl ₂ .

Alcalinidad: Método de Titulación (SM 2320)

Discusión General

a) *Principio:* Los iones hidróxilos presente en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácidos estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH de punto final utilizado. Para conocer los métodos de determinación de puntos de inflexión a partir de curvas de titulación a puntos finales de pH fijados. Para muestra de alcalinidad baja (menos de 20 mg de CaCO₃/L), utilícese una técnica de extrapolación basada en la proporcionalidad cercana de la concentración de hidrogeniones y el exceso de reactivo más allá del punto de equivalencia. Se mide con precisión la cantidad de ácido estándar requerida para reducir el pH exactamente en 0,30 unidades. Como este cambio del pH corresponde a una duplicación exacta de la concentración de hidrogeniones, puede hacerse una extrapolación simple para el punto de equivalencia.

b) *Puntos Finales:* Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en esta fase. Esta concentración depende, a su vez, del tipo de carbonato total nativo existente y de cualquier pérdida que pueda haberse producido durante la titulación. Como puntos de equivalencia de las concentraciones de alcalinidad correspondientes, en mg de CaCO₃/L, se sugieren los valores de pH que se expresan a continuación. Alcalinidad de fenolftaleína es un término empleado tradicionalmente para designar la cantidad medida mediante titulación a pH 8,3, independientemente del indicador de color utilizado en su caso para la determinación. Las llamativas variaciones de color producidas por el púrpura de metacresol (pH 8,3) y el verde de bromocresol (pH 4,5) conceden utilidad estos indicadores para la titulación de alcalinidad.

c) *Interferencias:* Los jabones, las materias oleosas y los sólidos en suspensión o precipitados pueden recubrir el electrodo de vidrio y causar una respuesta retardada. Déjense un tiempo adicional entre las adiciones del reactivo para permitir que el electrodo recupere el equilibrio, o límpiese éste en su caso. No se debe filtrar, diluir, concentrar o alternar la muestra.

d) *Selección del Método:* Determinése la alcalinidad de la muestra a partir del volumen de ácido estándar requerido para titular una porción a un pH determinado. Titúlese a temperatura ambiente con un medidor de pH adecuadamente calibrado o un titulador eléctrico, o utilizando indicadores de color. Infórmese de una alcalinidad menor de 20 mg de CaCO_3 solamente si ha sido determinada por el método de alcalinidad baja. Confecciónese una curva de titulación para estandarización de los reactivos. Los indicadores de color puede utilizarse para titulaciones habituales y de control en ausencia de color y turbidez que puedan interferir, y en titulaciones preliminares para seleccionar el tamaño de la muestra y la potencia del reactivo.

e) *Tamaño de la Muestra:* Para seleccionar el tamaño de la muestra que va a titularse y la normalidad del reactivo, sustituyendo ácido sulfúrico (H_2SO_4) o clorhídrico (HCl) 0,02 ó 0,1 N por el álcali estándar de este método. Si se sigue el método de alcalinidad baja, titúlese una muestra de 20 mL con H_2SO_4 0,02 N, a partir de una bureta de 10 mL.

f) *Toma de Muestras y Conservación:* Recójense las muestras en botellas de polietileno o vidrio borosilicato y consérvense a baja temperatura. Llénense las botellas por completo y tápanse herméticamente.

Aparatos

a) *Titulador Electrométrico:* Utilícese cualquier medidor de pH disponible en el mercado o un titulador electrolítico provisto de un electrodo de cristal y que pueda ser leído hasta unidades de pH 0,05. Estandarícese y equilíbrense con arreglo a las instrucciones del fabricante. Debe presentarse una especial atención a la compensación de la temperatura y al cuidado del electrodo. Si la temperatura no se compensa de forma automática, titúlese a $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$.

b) *Vaso de Titulación:* Su tamaño y forma dependerán de los electrodos y del tamaño de la muestra. El espacio queda libre sobre la muestra debe ser lo más reducido posible, dejando sitio para el reactivo y la inmersión completa de la porción indicadora de los electrodos. Para electrodos de tamaño convencional, llénese un vaso Berzelius sin ranuras, de tipo alto con una capacidad de 200 mL. Colóquese un tapón con tres orificios, para ajustar los dos electrodos y la bureta. Con un electrodo miniatura de

combinación vidrio-referencia, empléese un erlenmeyer de 1 250 mL ó 250 mL con un tapón de dos orificios.

c) *Agitador Magnético*

d) *Pipeta Volumétricas*

e) *Matraces Volumétricos, 1 000 mL, 200 mL, 100 mL*

f) *Buretas, 50 mL, 25 mL y 10 mL*

g) *Botella de Poliolefina, 1 L*

Reactivos

a) *Solución de Carbonato Sódico, aproximadamente 0,05 N*: Séquense entre 3 g y 5 g de Na_2CO_3 estándar primario a 250°C durante 4 h y enfríense en desecador. Se pesan $2,5 \text{ mg} \pm 0,2 \text{ mg}$ y se transfiere a un matraz volumétrico de 1 litro, llenando hasta la marca con agua destilada y mezclando el reactivo. No debe conservarse más de una semana.

b) *Ácido Sulfúrico o Clorhídrico Estándar, 0,1 N*: Prepárese la solución ácida de normalidad aproximada a la indicada en preparación de reactivos de mesa. Estandarícese frente a una solución de 40 mL de Na_2CO_3 0,05 N en probeta, con unos 60 mL de agua, titulando potenciométricamente a un pH aproximado de 5. Elévense los electrodos, enjuáguese en la misma probeta y háganse hervir suavemente durante 3 a 5 minutos cubriendo con un vidrio de reloj. Enfríese a temperatura ambiente, enjuáguese el cristal en la probeta y conclúyase la operación titulando en el punto de inflexión de pH. Calcúlese la normalidad.

$$\text{Normalidad} = \frac{A \times B}{53.00 \times C} \quad (\text{D.1})$$

Dónde:

A = g de Na_2CO_3 , pesados en matraz de 1 L

B = mL de solución de Na_2CO_3 tomados para titulación

C = mL de ácido empleados

c) Utilícese la normalidad medida en los cálculos o ajústese a 0,1000 N; 1 mL de solución 0,1000 N = 5,0 mg de CaCO_3 .

d) *Ácido Sulfúrico o Clorhídrico Estándar, 0,02 N:* Dilúyanse 200 mL de ácido estándar 0,1000 N hasta 1 000 mL de agua destilada o desionizada. Estandarícese mediante titulación potenciométrica de 15,0 mL de Na_2CO_3 0,05 N, donde 1 mL = 1,0 mg de CaCO_3 .

e) *Solución Indicadora de Verde de Bromocresol, Indicador de pH 4,5:* Disuélvanse 100 mg de púrpura de verde de bromocresol, sal sódica, en 100 mL de agua destilada.

f) *Solución Indicadora de Púrpura de Metacresol, Indicador de pH 8,3:* Disuélvanse 10 mg de púrpura de metacresol en 100 mL de agua.

g) *Solución Alcohólica de Fenolftaleína, Indicador a pH 8,3.*

h) *Tiosulfato sódico, 0,1 N:* Dilúyanse 25 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y disuélvanse en 1 000 mL en agua destilada.

Procedimiento

a) *Cambio de Color:* Ajústese la muestra a la temperatura ambiente si es necesario, y vacíese con pipeta en un erlenmeyer, manteniendo la punta de la pipeta cerca del fondo del matraz. Si existe cloro residual libre, añádanse 0,05 mL (dos gotas) de solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 M, o destrúyase mediante la aplicación de rayos ultravioleta. Añádanse 0,2 mL (cinco gotas) de solución indicadora y titúlese sobre la superficie blanca hasta conseguir un cambio de color persistente, característico del punto de equivalente. Puede emplearse las soluciones o los sólidos indicadores que se encuentran disponibles en el mercado diseñados para margen adecuado de pH (3,7 u 8,3). Investíguese el color de la misma cantidad a una solución tampón al pH designado.

Cálculo

a) *Titulación Potenciométrica a pH de Punto Final:*

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50000}{\text{ml de muestra.}} \quad (\text{D.2})$$

Dónde:

A = mL utilizados de ácidos estándar

B = Normalidad de ácido estándar

Dureza: Método de Titulométrico de EDTA(SM 2343)

Discusión General

- a) *Principio:* El ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10 ± 0.1 se añade una pequeña cantidad de colorante, como negro de eriocromo T o calmadita, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación los iones de calcio y magnesio formarán un complejo, y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiará de rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación. Para obtener un punto final satisfactorio han de estar presente los iones de magnesio. Para asegurar esta presencia, se añade al tampón una pequeña cantidad de sal magnésica de EDTA, neutra desde el punto de vista complexométrico; de este modo se introduce automáticamente una cantidad suficiente de magnesio y evita la necesidad de una corrección de blanco. La nitidez de punto final aumenta con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato cálcico (CaCO_3) o hidróxido magnésico, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ y porque la titulación cambia de color a pH alto. El valor de pH especificado de 10 ± 0.1 constituye una solución satisfactoria. Se fija un límite de cinco minutos de duración para la titulación, a fin de reproducir al mínimo la tendencia a la precipitación de CaCO_3 .
- b) *Interferencia:* Algunos iones metálicos interfieren produciendo puntos finales débiles o indiferenciados, o provocando un consumo estequiométrico de EDTA. Redúzcase esta interferencia añadiendo algunos inhibidores antes de la titulación. El Mg-EDTA secuestra selectivamente a los metales pesados, libera magnesio en la muestra y puede utilizarse como sustituto de inhibidores tóxicos o malolientes. Solamente es útil cuando el magnesio sustituido por los metales pesados no contribuye significativamente a la dureza total. Las materias orgánicas coloidales o en suspensión también pueden interferir en el punto final. Elimínese la interferencia mediante evaporación de la muestra por secado en baño de vapor y calentamiento en horno mufla a 550°C hasta que se produzca la oxidación completa de la materia orgánica. Dilúyase el residuo en 20 mL de ácido clorhídrico (HCl) 1 N, neutralícese pH 7 con hidróxido sódico (NaOH) 1N y complétese hasta 50 mL con agua destilada; enfríese a temperatura ambiente y continúese de acuerdo con el procedimiento general.
- c) *Precauciones en la Titulación:* Practíquese la titulación a la temperatura ambiente. El cambio de color se hace demasiado lento a medida que la muestra se acerca a

la temperatura de congelación. La descomposición del indicador llega a constituir un problema cuando se emplea agua caliente. El pH especificado puede producir un ambiente propicio a la precipitación del CaCO_3 . Aunque el titulante disuelve lentamente estos precipitados, un punto final desviado suele proporcionar resultados pobres. La realización de la titulación en cinco minutos reduce el mínimo la tendencia a precipitar el CaCO_3 .

Reactivos

a) Solución Tampón:

- Disuélvanse 16,9 g de cloruro amónico (NH_4Cl) en 143 mL de hidróxido de amonio (NH_4OH) concentrado. Añádase 1,25 g de sal de magnesio de EDTA y dilúyase hasta 250 mL de agua destilada.
- Si no se dispone de sal de magnesio de EDTA, disuélvase 1,179 g de sal disódica de ácido etilendiaminotetraacético dihidrato y 780 mg de sulfato de magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) o 644 mg de cloruro de magnésico ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) en 50 mL de agua destilada. Para alcanzar la máxima exactitud, ajústese a equivalente exacto por medio de la adición de una pequeña cantidad de EDTA, MgCl_2 o MgSO_4 . Consérvense las soluciones 1) y 2) en un recipiente plástico o de vidrio borosilicato, durante un período no superior a un mes. Tapónese herméticamente para evitar pérdidas de amoníaco (NH_3) o captura de dióxido de carbono (CO_2). Manipúlese la solución tampón mediante una pipeta de bulbo. Se prescindirá del tampón cuando, al añadirse 1 mL ó 2 mL a la muestra, éstos no puedan producir un pH de $10,0 \pm 0,1$ en el punto final de la titulación.
- También puede adquirirse en el mercado tampones inodoros, los cuales constituyen una alternativa satisfactoria. Contienen sal de magnesio de EDTA y tienen la ventaja de ser relativamente inodoros y más estables que los tampones de $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_4\text{OH}$. Por lo general, los tampones inodoros no proporcionan un punto final tan favorable como los de $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_4\text{OH}$. A causa de su reacción más lenta, y pueden resultar inútiles cuando el método está automatizado. Prepárese uno de esos tampones mezclando 55 mL de HCl concentrado con 400 mL de agua destilada y a continuación añádase, lentamente y agitándolo, 300 mL de 2-aminoetanol (libre de aluminio y metales pesados). Agréguese 5,0 g de sal de magnesio de EDTA y dilúyase hasta 1 L de agua destilada.

b) Indicadores: Se han propuesto muchos tipos de soluciones indicadoras, que pueden utilizarse si el analista demuestra que proporcionan valores exactos. El principal problema que presentan estas soluciones es que se deterioran con el tiempo, produciendo puntos finales poco netos. Por ejemplo, las soluciones

alcalinas de negro de eriocromo T son sensibles a los oxidantes, y sus soluciones acuosas o alcohólicas son inestables. En general, utilícese la menor cantidad de indicador capaz de obtener un punto final neto.

Negro de Eriocromo T: Sal sódica de ácido 1-(1-hidroxi-2-naftilaza)-5-nitro-2-naftol-4-sulfónico. Disuélvase 0,5 g de colorante en 100 g de 2,2', 2''-nitrilotrietanol (también llamado trietanolamina) o 2-metoximetanol (también llamado etilenglicol-monometiléter). Añádanse 2 gotas por 50 mL de solución a titular. Si es necesario, ajústese el volumen.

- c) *Titulante EDTA Estándar*, 0,01 M: Se pesan 3,723 g de etilendiaminotetracetato disódico trihidrato, grado de reactivo analítico, también llamado (etilenodinitrilo) sal disódica del ácido tetraacético (EDTA), a continuación se disuelve en agua destilada hasta 1 000 mL. Estandarícese frente a solución de calcio estándar (2d) como se describe más adelante (apartado 3a). El titulante extrae cationes productores de dureza de los recipientes de vidrio blando, por lo que debe conservarse en frasco de polietileno (preferible) o vidrio borosilicato. El deterioro gradual se compensa mediante la reestandarización periódica y la utilización de un factor de corrección adecuado.
- d) *Solución de Calcio Estándar*: Se pesan 1,0 g de polvo de CaCO_3 anhidro (estándar principal o reactivo especial, bajo metales pesados, álcalis y magnesio) en un erlenmeyer de 500 mL. Colóquese un embudo en el cuello del matraz y añádase, poco a poco, 1 + 1 HCl hasta la disolución total de CaCO_3 . Mézclense 200 mL de agua destilada y hágase hervir durante unos minutos para expeler el CO_2 . Enfríese, añádase unas gotas de indicador rojo de metilo y ajústese al color naranja intermedio por adición de NH_4OH 3 N o 1 + 1 HCl, según se requiera. Transválese cuantitativamente y dilúyase hasta 1 000 mL con agua destilada; 1 mL = 1,0 mg de CaCO_3 .
- f) *Hidróxido sódico*, NaOH, 0,1 N.

Procedimiento

- a) *Titulación de Muestras*: Selecciónese un volumen de muestra que requiera menos de 15 mL de reactivo EDTA y realícese la titulación en cinco minutos, medidos a partir del momento de la adición del tampón. Dilúyanse 25,0 mL de muestra hasta alrededor de 50 mL de agua destilada en una batea de porcelana u otro recipiente adecuado. Añádase entre 1 mL y 2 mL de solución tampón. Por lo general, 1 mL será suficiente para dar un pH de 10,0 a 10,1. La ausencia de un cambio de color de punto final neto en la titulación suele significar la necesidad de un inhibidor en este punto, o que el indicador se ha deteriorado.

Añádanse una o dos gotas de solución indicadora o una cantidad adecuada del reactivo en polvo seco. Poco a poco, añádase titulante EDTA estándar, removiendo continuamente, hasta que desaparezcan las últimas gotas con intervalo de 3 a 5 segundos. En el punto final, la solución suele ser azul. Se recomienda utilizar luz natural o una lámpara fluorescente de luz día, ya que las lámparas de incandescencia tiende a producir un matiz rojizo en el azul de punto final.

Cálculos

$$\text{Dureza (EDTA) como mg de CaCO}_3\text{/L} = \frac{A \times B \times 1000}{\text{ml de muestra}} \quad (\text{D.3})$$

Dónde:

A = mL de titulación para la muestra

B = mg CaCO₃ equivalente a 1,0 mL de titulante EDTA

Coliformes Fecales: Método de Filtro Membrana

Preparación del Medio de Cultivo

Para preparar 1 litro de medio de cultivo, pesar los siguientes reactivo:

- 71,2 g de lauril sulfato (BBL)
- 14 g de agar técnico No.3
- 0,2 g de rojo fenol


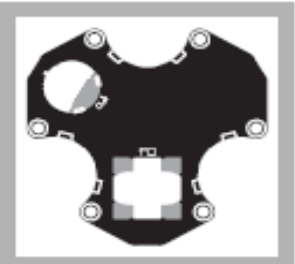
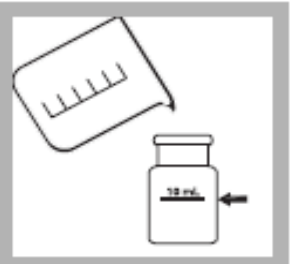
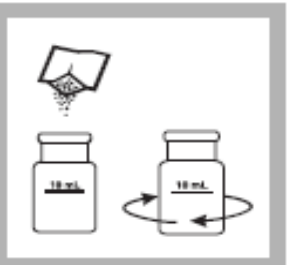




Mezclar en un balón aforando a 1 litro con agua destilada, esterilice en autoclave por 15 minutos a 121°C. Enfriar a 45°C y verter en las placas petri aproximadamente 3 mL del medio de cultivo.

Procedimiento

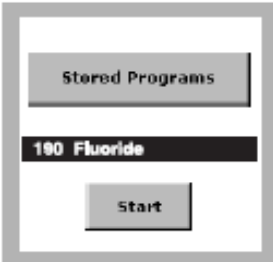
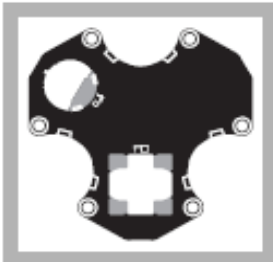






- a) Se esteriliza el sistema de filtración adicionando 1 mL de metanol y flameando, en el mechero.

- b) Si se usa el sistema Gelman de plástico, esterilice en Baño Maria a 100°C por 5 minutos, previo a cada análisis.
- c) Con la pinza se toma la membrana; se coloca sobre la placa petri con medio de cultivo y se incuba a 47°C por 18 horas. Se cuentan los puntos amarillos y se reportan como número de colonias coliformes fecales en 100 mL.
- d) Este método, es únicamente para agua con baja contaminación, de fuentes superficiales o subterráneas, con turbiedad menor a 5 NTU En caso de muestras con turbidez entre 5 NTU y 30 NTU se filtran 50 mL y el número de colonias detectadas se multiplica, por dos.

Hierro Total

Powder Pillows		Method 8008	
 <p>1. Select the test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Prepared Sample: Fill a clean square sample cell with 10 mL of sample.</p>	 <p>4. Add the contents of one FerroVer Iron Reagent Powder Pillow to the sample cell. Swirl to mix. An orange color will form, if iron is present</p>
 <p>5. Press TIMER>OK. A three-minute reaction period will begin. (Allow samples that contain rust to react for at least 5 minutes.)</p>	 <p>6. Blank Preparation: Fill a second square sample cell with 10 mL of sample.</p>	 <p>7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press ZERO. The display will show: 0.00 mg/L Fe</p>	 <p>8. Place the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L Fe.</p>

Flúor

Using SPADNS Reagent		Method 8029	
 <p>1. Select the test.</p>	 <p>2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Prepared Sample: Pipet 10.0 mL of sample into a dry square sample cell.</p>	 <p>4. Blank Preparation: Pipet 10.0 mL of deionized water into a second dry square sample cell.</p>
 <p>5. Carefully pipet 2.0 mL of SPADNS Reagent into each cell. Swirl to mix.</p>	 <p>6. Press TIMER>OK. A one-minute reaction period will begin.</p>	 <p>7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press ZERO. The display will show: 0.00 mg/L F⁻</p>	 <p>8. Insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L F⁻.</p>

Manganeso

Powder Pillows

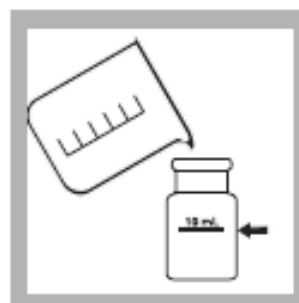
Method 8034



1. Select the test.



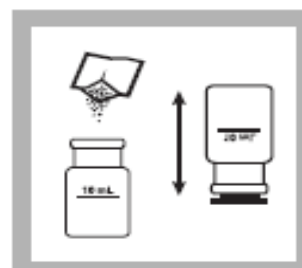
2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



3. **Prepared Sample:**
Fill a square sample cell with 10 mL of sample.

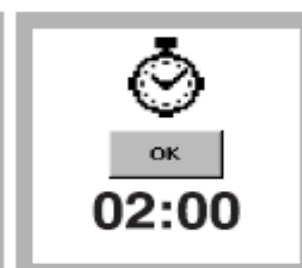


4. Add the contents of one Buffer Powder Pillow, Citrate Type for Manganese. Stopper and invert to mix.

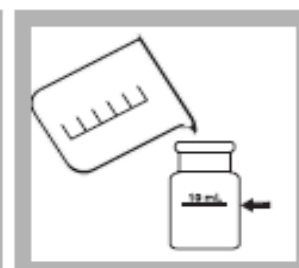


5. Add the contents of one Sodium Periodate Powder Pillow to the sample cell. Stopper and invert to mix.

A violet color will develop if manganese is present.



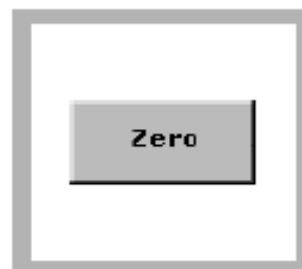
6. Press **TIMER>OK**.
A two-minute reaction period will begin.



7. **Blank Preparation:**
Fill a second square sample cell with 10 mL of sample.



8. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user.




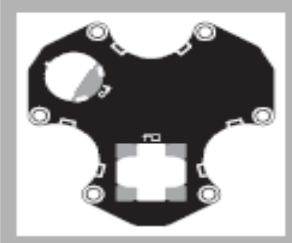


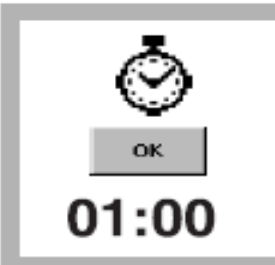

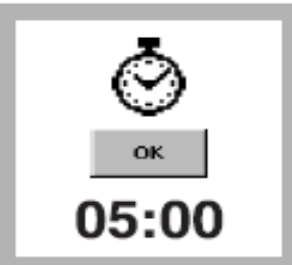


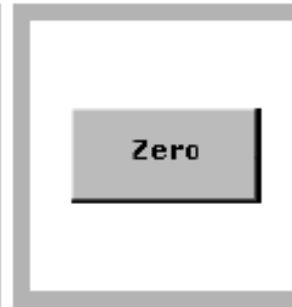

9. Press **ZERO**.
The display will show:
0.0 mg/L Mn



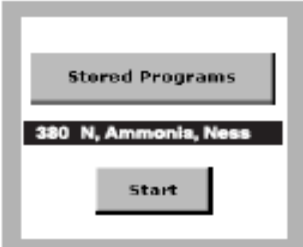
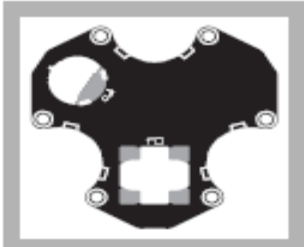
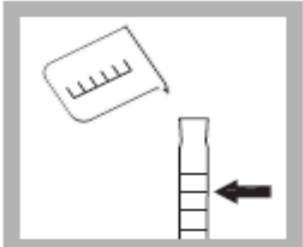
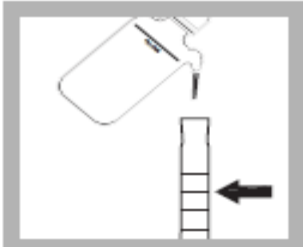
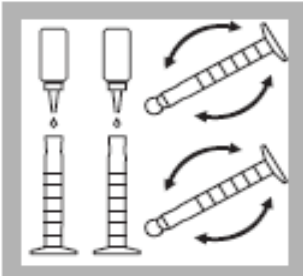
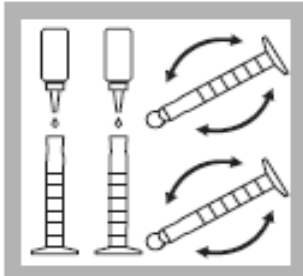
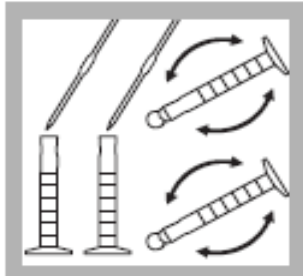
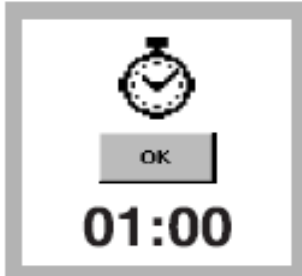



10. Within eight minutes after the timer expires, insert the sample into the cell holder with the fill line facing the user.

Results are in mg/L Mn

Nitratos

Powder Pillows		Method 8039	
 <p>1. Select the test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Fill a square sample cell with 10 mL of sample.</p>	 <p>4. Prepared Sample: Add the contents of one NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow. Stopper.</p>
 <p>5. Press TIMER>OK. A one-minute reaction period will begin.</p>	 <p>6. Shake the cell vigorously until the timer expires.</p>	 <p>7. When the timer expires, press TIMER>OK again. A five-minute reaction period will begin. An amber color will develop if nitrate is present.</p>	 <p>8. Blank Preparation: When the timer expires, fill a second square sample cell with 10 mL of sample.</p>
 <p>9. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.</p>	 <p>10. Press ZERO. The display will show: 0.0 mg/L NO_3^--N</p>	 <p>11. Within one minute after the timer expires, wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L NO_3^--N.</p>	

Amonio

Nessler		Method 8038	
 <p>1. Select the test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Prepared Sample: Fill a 25-mL mixing graduated cylinder to the 25-mL mark with sample.</p>	 <p>4. Blank Preparation: Fill a 25-mL mixing graduated cylinder to the 25-mL mark with deionized water.</p>
 <p>5. Add three drops of Mineral Stabilizer to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.</p>	 <p>6. Add three drops of Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.</p>	 <p>7. Pipet 1.0 mL of Nessler Reagent into each cylinder. Stopper and invert several times to mix.</p>	 <p>8. Press TIMER>OK. A one-minute reaction period will begin.</p>
 <p>9. Pour 10 mL of each solution into a square sample cell.</p>	 <p>10. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press ZERO. The display will show: 0.00 mg/L NH₃-N</p>	 <p>11. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L NH₃-N.</p>	

Anexo E

Memoria de Cálculo

E.1 Aguas Caliente

Población Futura

$$P_f = P_o(1 + i)^n \quad (E. 1)$$
$$P_f = 31 \text{ hab} \left(1 + \left(\frac{2,5}{100} \right) \right)^{20} = 50,79 \text{ hab} \approx 51$$

Determinación de Caudales

Caudal Promedio Diario (CPD)

$$CPD = (dp * P_f) + CI + CC + CP + OU \quad (E. 2)$$
$$CPD = \left(0,075 \frac{m^3}{hab - d} * 51 \text{ hab} \right) + \left[0,07 * \left(0,075 \frac{m^3}{hab - d} * 51 \text{ hab} \right) \right]$$
$$+ \left[0,07 * \left(0,075 \frac{m^3}{hab - d} * 51 \text{ hab} \right) \right] + \left[0,02 * \left(0,075 \frac{m^3}{hab - d} * 51 \text{ hab} \right) \right]$$
$$+ \left[0,02 * \left(0,075 \frac{m^3}{hab - d} * 51 \text{ hab} \right) \right] = 4,51 \frac{m^3}{día} * \frac{d}{86\,400\,s} = 5,22 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Caudal Promedio Diario Total (CPDT)

$$CPDT = (0,2 * CPD) + CPD \quad (E. 3)$$
$$CPDT = \left(0,2 * 5,22 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \right) + 5,22 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 6,26 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Caudal Máximo Día (CMD)

$$CMD = 1,5 * CPDT \quad (E. 4)$$
$$CMD = 1,5 * 6,26 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 9,40 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Caudal Máximo Hora (CMH)

$$CMH = 2,5 * CPDT \quad (E. 5)$$
$$CMH = 2,5 * 6,26 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 1,57 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Filtro Grueso Dinámico

Caudal Máximo Hora y Caudal Total

$$Q_T = (R * CMH) + CMH ; R = 1,2 - 1,5 \quad (E. 6)$$

$$Q_T = 1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} + 1,3 * (1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) = 3,61 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Área Total

$$A_T = \frac{Q_T}{V_f} = \frac{3,61 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5,55 \times 10^{-4} \text{ m}/\text{s}} = 0,65 \text{ m}^2 \quad (E. 7)$$

Número de Filtros

$$N = \frac{A_T}{A_M} = \frac{0,65 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}^2} = 2,16 \approx 2^* \quad (E. 8)$$

Área Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N} = \frac{0,65 \text{ m}^2}{2} = 0,33 \text{ m}^2 \quad (E. 9)$$

Caudal Individual (Q_i)

$$Q_i = \frac{Q_T}{N} = \frac{3,61 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (E. 10)$$

Dimensiones Relación 3:1

$$A_i = L * a; 3a = L \quad (E. 11)$$

$$A_i = 3a * a = 3a^2 \quad (E. 12)$$

$$a = \sqrt{\frac{A_i}{3}} = \sqrt{\frac{0,325 \text{ m}^2}{3}} = 0,40 \text{ m}; L = 1,21 \text{ m} \quad (E. 13)$$

*El número mínimo de unidades en paralelo es 2

Altura del Filtro

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} \quad (E. 14)$$

$$H_f = 0,30 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 1,10 \text{ m}$$

Tabla E.1 Especificación del Material Filtrante, Aguas Caliente.

Tipo de Material	Altura (m)	Diámetro de Partícula (mm)
Grueso	0,20	4,0
Media	0,20	7,0
Fina	0,20	20,0
	0,60	

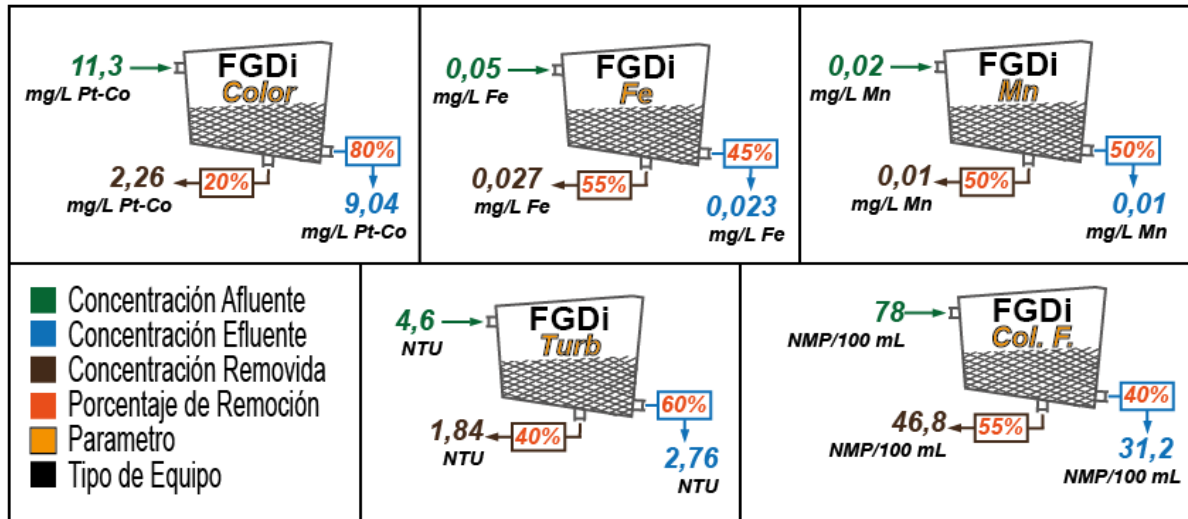


Figura E.1 Balances de Contaminantes, Filtración Gruesa Dinámica en Aguas Caliente.

Filtro Lento de Arena

- Área de filtración máxima 100 m²
- Velocidad de filtración: 0,10 m/h - 0,20 m/h
- Altura del lecho filtrante: 1,0 m -1,5 m

Área Total

$$A_T = \frac{CMH}{V_F} = \frac{1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}} = 3,74 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 14})$$

Número de Filtros

$$N = \frac{A_T}{A_M} = \frac{3,74 \text{ m}^2}{1,6 \text{ m}^2} = 2,33 \approx 2 \quad (\text{E. 15})$$

Área Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N} = \frac{3,74 \text{ m}^2}{2} = 1,87 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 16})$$

Caudal Individual

$$Q_i = \frac{CMH}{N} = \frac{1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{E. 17})$$

Longitud y Ancho

$$k = \frac{(2N)}{N+1} = \frac{2 \times 2}{2+1} = 1,33 \quad (\text{E. 18})$$

$$L = \sqrt{(A_i \times k)} = 1,58 \text{ m} \quad (\text{E. 19})$$

$$b = (A_i/k)^{1/2} = 1,19 \text{ m} \quad (\text{E. 20})$$

Altura del Filtro

$$H_f = H_{bl} + H_{as} + H_{lf} + H_{ls} \quad (E. 21)$$

$$H_f = 0,20 \text{ m} + 1,30 \text{ m} + 1,0 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$$

Diámetro Efectivo = 0,15 mm

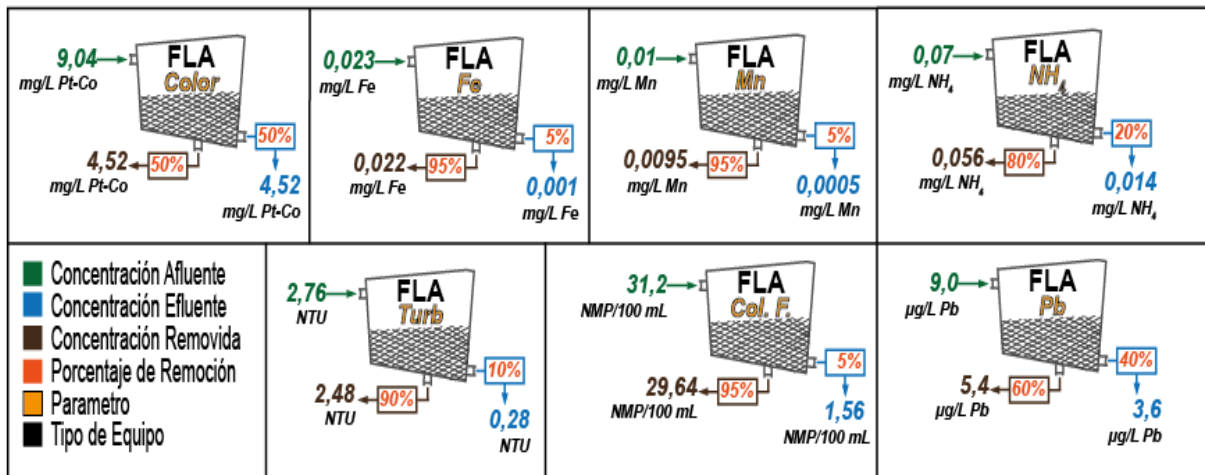
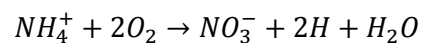


Figura E.2 Balances de Contaminantes, Filtración Lenta de Arena en Aguas Caliente.

Balance de Contaminantes

Remoción de Amonio



$$\frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NH_4^+ \right) + \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{32,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} O_2 \right)$$

$$\rightarrow \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{62,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NO_3^- \right) + \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{1,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} H^+ \right)$$

$$\left(\frac{18,0 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{64,0 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{62,0 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{2,0 \text{ mg}}{L} H^+ \right) / 18,0$$

$$\frac{1 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{3,56 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{3,45 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{0,11 \text{ mg}}{L} H^+$$

$$\frac{0,07 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{0,25 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{0,24 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{7,84 \times 10^{-3} \text{ mg}}{L} H^+$$

Producción de Nitratos

$$[NO_3^-]_{sFLA} = [NO_3^-]_o + [NO_3^-]_{prod} \quad (E. 23)$$

$$[NO_3^-]_{sFLA} = 2,90 \text{ mg/L} + 0,24 \text{ mg/L} = \frac{3,14 \text{ mg}}{L}$$

Consumo de Oxígeno

$$[O_2]_{sFLA} = [O_2]_o - [O_2]_{cons} \quad (E. 24)$$

$$[O_2]_{sFLA} = 5,90 \text{ mg/L} - 0,25 \text{ mg/L} = 5,65 \text{ mg/L}$$

Cambio de pH



$$\frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{1,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} H^+ \right) + \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} HCO_3^- \right) \rightarrow \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} CO_2 \right)$$

$$\left(\frac{1,0 \text{ mg}}{L} H^+ \right) + \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \right) \rightarrow \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{L} CO_2 \right)$$

$$\frac{7,84 \times 10^{-3} \text{ mg}}{L} H^+ + \frac{0,48 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{0,35 \text{ mg}}{L} CO_2$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = [HCO_3^-]_o - [HCO_3^-]_{cons} \quad (E. 26)$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = \frac{123,6 \text{ mg}}{L} - \frac{0,48 \text{ mg}}{L} = 123,10 \text{ mg/L}$$

$$[CO_2]_{sFLA} = [CO_2]_o + [CO_2]_{prod} \quad (E. 27)$$

$$[CO_2]_{sFLA} = \frac{170,7 \text{ mg}}{L} + \frac{0,35 \text{ mg}}{L} = 171,10 \frac{\text{mg}}{L}$$

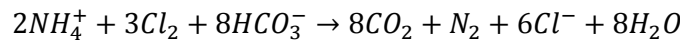
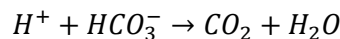
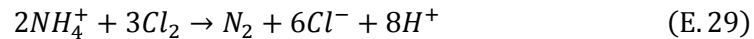
$$pH = pKa + \log \left[\frac{HCO_3^-}{CO_2} \right] \quad (E. 28)$$

$$6,94 = 6,42 + \log \left[\frac{(123,10 \text{ mg/L}) / \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} * \frac{1 \text{ 000 mmol}}{\text{mol}} \right)}{CO_2} \right] = 3,9 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

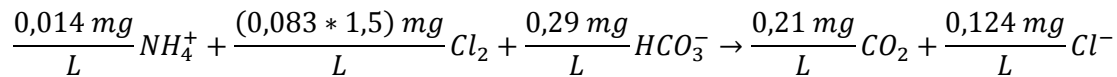
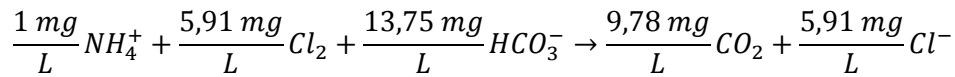
$$CO_2 = \frac{3,88 \times 10^{-3} \text{ mol}}{L} * \frac{44,0 \text{ g}}{\text{mol}} * \frac{1\,000 \text{ mg}}{\text{g}} = 170,70 \text{ mg/L}$$

$$pH = 6,42 + \log \left[\frac{123,10 \text{ mg/L} / 61,0 \text{ mg/mmol}}{171,10 \text{ mg/L} / 44,0 \text{ mg/mmol}} \right] = 6,14$$

Desinfección con Cloro



$$\begin{aligned} & \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NH_4^+ \right) + \frac{3,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{71,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} Cl_2 \right) + \frac{8,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} HCO_3^- \right) \\ & \rightarrow \frac{8,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} CO_2 \right) + \frac{6,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{33,50 \text{ mg}}{\text{mmol}} Cl^- \right) \end{aligned}$$



$$[HCO_3^-]_{sFLA} = [HCO_3^-]_o - [HCO_3^-]_{cons} \quad (E. 30)$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = \frac{123,10 \text{ mg}}{L} - \frac{0,29 \text{ mg}}{L} = 122,81 \text{ mg/L}$$

$$[CO_2]_{sFLA} = [CO_2]_o + [CO_2]_{prod} \quad (E. 31)$$

$$[CO_2]_{sFLA} = \frac{171,10 \text{ mg}}{L} + \frac{0,21 \text{ mg}}{L} = 171,31 \text{ mg/L}$$

$$[Cl_2]_{sFLA} = [Cl_2]_o + [Cl_2]_{prod} \quad (E. 32)$$

$$[Cl_2]_{sFLA} = \frac{27,20 \text{ mg}}{L} + \frac{0,124 \text{ mg}}{L} = 27,32 \text{ mg/L}$$

$$pH = 6,42 + \log \left[\frac{122,81 \text{ mg/L} / 61,0 \text{ mg/mmol}}{171,31 \text{ mg/L} / 44,0 \text{ mg/mmol}} \right] = 6,13$$

Debido a que el pH se encuentra por debajo de la norma CAPRE este se debe de ajustar con la adición de un compuesto básico para neutralizar la acidez de las aguas.

$$pH = 6,42 + \log \left[\frac{[HCO_3^-] + x}{[CO_2] - x} \right] \quad (E. 33)$$

$$7,5 = 6,42 + \log \left[\frac{2,01 \times 10^{-3} M + x}{3,89 \times 10^{-3} M - x} \right]$$

$$10^{1,08} = \frac{2,01 \times 10^{-3} M + x}{3,89 \times 10^{-3} M - x}$$

$$10^{1,08} * (3,89 \times 10^{-3} M - x) = 2,01 \times 10^{-3} M + x$$

$$0,047 M - 12,02 x = 2,01 \times 10^{-3} M + x$$

$$x = \frac{0,045 M}{13,02} = 3,46 \times 10^{-3} M$$

$$3,46 \times 10^{-3} M * 74 \frac{g}{mol} Ca(OH)_2 = 0,26 \frac{g}{L} de Ca(OH)_2$$

Cálculo de las concentraciones finales de CO₂ y HCO₃

$$\begin{aligned} [HCO_3]_f &= 2,01 \times 10^{-3} M + 3,46 \times 10^{-3} M = \left(5,47 \times 10^{-3} M * \frac{61 mg}{mmol} * \frac{1\,000 mmol}{mol} \right) \\ &= 333,67 \frac{mg}{L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [CO_2]_f &= 3,89 \times 10^{-3} M - 3,46 \times 10^{-3} M = \left(4,30 \times 10^{-4} M * \frac{44 mg}{mmol} * \frac{1\,000 mmol}{mol} \right) \\ &= 18,92 mg/L \end{aligned}$$

Tanque de Almacenamiento

El tanque de aguas claras debe poseer un volumen (V_{TD}) tal que pueda almacenar un 40% del caudal máximo hora (CMH) por un tiempo (t) de dos horas. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{TD} = 0,40 * CMH * t = 0,40 * 1,57 \times 10^{-4} m^3/s * 7\,200 s = 0,45 m^3 \quad (E. 34)$$

Área del Tanque

$$A_{TD} = \pi * r^2 = \pi * (0,40 \text{ m})^2 = 0,50 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 35})$$

Altura del Tanque

$$h_{TD} = \frac{V_{TD}}{A_{TD}} = \frac{0,45 \text{ m}^3}{0,50 \text{ m}^2} = 0,90 \text{ m} \quad (\text{E. 36})$$

E.2 Los Tablones

Población Futura

$$P_f = P_o(1 + i)^n \quad (\text{E. 37})$$

$$P_f = 180 \text{ hab} \left(1 + \left(\frac{2,5}{100} \right) \right)^{20} = 294,95 \text{ hab} \approx 295 \text{ hab}$$

Determinación de Caudales

Caudal Promedio Diario (CPD)

$$CPD = (dp * P_f) + CI + CC + CP + OU \quad (\text{E. 38})$$

$$\begin{aligned} CPD &= \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 295 \text{ hab} \right) + \left[0,07 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 295 \text{ hab} \right) \right] \\ &+ \left[0,07 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 295 \text{ hab} \right) \right] + \left[0,02 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 295 \text{ hab} \right) \right] \\ &+ \left[0,02 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 295 \text{ hab} \right) \right] = 26,11 \frac{\text{m}^3}{d} * \frac{\text{día}}{86\,400 \text{ s}} \\ &= 3,02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{s} \end{aligned}$$

Caudal Promedio Diario Total (CPDT)

$$CPDT = (0,2 * CPD) + CPD \quad (\text{E. 39})$$

$$CPDT = \left(0,2 * 3,02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{s} \right) + 3,02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{s} = 3,62 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{s}$$

Caudal Máximo Día (CMD)

$$CMD = 1,5 * CPDT \quad (\text{E. 40})$$

$$CMD = 1,5 * 3,62 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{s} = 5,44 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{s}$$

Caudal Máximo Hora (CMH)

$$CMH = 2,5 * CPDT \quad (E. 41)$$

$$CMH = 2,5 * 3,62 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 9,06 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Filtro Grueso Dinámico

Caudal Máximo Hora y el Caudal Total

$$Q_T = (R * CMH) + CMH ; R = 1,2 - 1,5 \quad (E. 42)$$
$$Q_T = 9,06 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} + 1,3 * \left(9,06 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \right) = 2,08 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Área Total

$$A_T = \frac{Q_T}{V_f} = \frac{2,08 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{5,55 \times 10^{-4} \frac{m}{s}} = 3,75 m^2 \quad (E. 43)$$

Número de Filtros

$$N = \frac{A_T}{A_M} = \frac{3,75 m^2}{1,8 m^2} = 2,09 = 2 \quad (E. 44)$$

Área Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N} = \frac{3,75 m^2}{2} = 1,88 m^2 \quad (E. 45)$$

Caudal Individual (Qi)

$$Q_i = \frac{Q_T}{N} = \frac{2,08 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{2} = 1,04 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \quad (E. 46)$$

Dimensiones Relación 3:1

$$A_i = L * a; 3a = L \quad (E. 47)$$

$$A_i = 3a * a = 3a^2 \quad (E. 48)$$

$$a = \sqrt{\frac{A_i}{3}} = \sqrt{\frac{1,88 m^2}{3}} = 0,79 m; L = 1,58 m$$

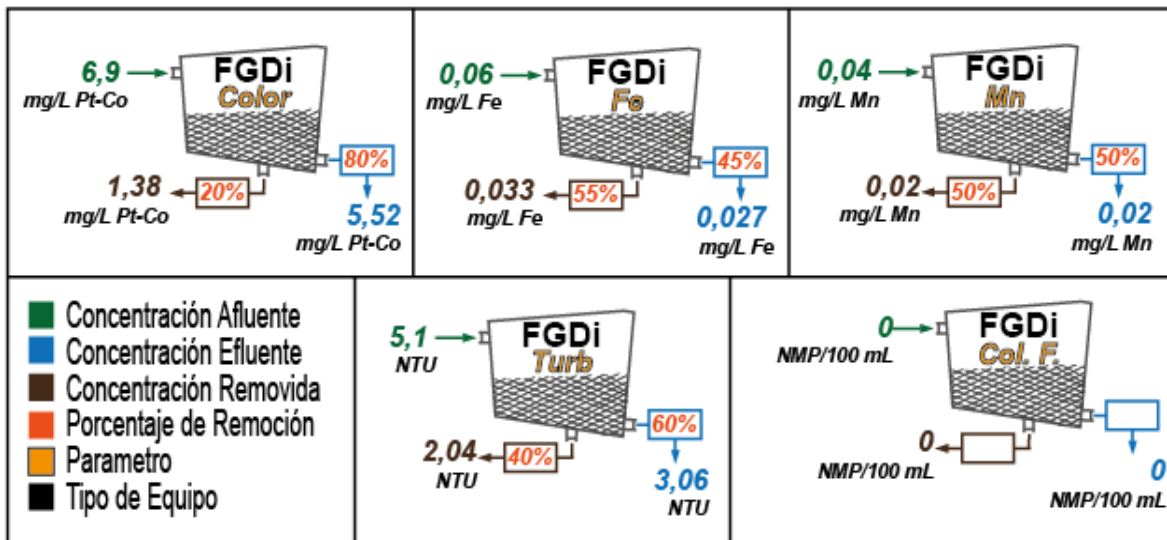
Altura del Filtro

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} \quad (E.49)$$

$$H_f = 0,30 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 1,10 \text{ m}$$

Tabla E.2 Especificación del Material Filtrante, Los Tablones.

Tipo de Material	Altura (m)	Diámetro de Partícula (mm)
Grueso	0,20	4,0
Media	0,20	7,0
Fina	0,20	20,0
	0,60	



Aireador

C_H = Carga Hidráulica (550 m/d – 1 800 m/d)

N_B = Número de Bandejas (4-6 / 3-5)

S_B = Separación entre Bandeja (0,30 m – 0,75 m)

H_A = Altura del Aireador (1,20 m – 3,0 m)

Cálculo del Área

$$A_T = \frac{CMH}{C_H} = \frac{78,32 \text{ m}^3/d}{550 \text{ m/d}} = 0,14 \text{ m}^2 \quad (E.50)$$

Área Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N_B} = \frac{0,14 \text{ m}^2}{3} = 0,047 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 51})$$

Longitud y Ancho de Bandejas Rectangulares, relación 2:1

$$L = 2 \times a ; A_i = L \times a \quad (\text{E. 52})$$

$$a = \sqrt{\frac{A_i}{2}} = \sqrt{\frac{0,047 \text{ m}^2}{2}} = 0,15 \text{ m} \quad (\text{E. 53})$$

$$L = 2 \times a = 2 \times 0,15 \text{ m} = 0,31 \text{ m}$$

Altura del Aireador

$$H_A = N_B \times S_B = 3 \times 0,4 \text{ m} = 1,20 \text{ m} \quad (\text{E. 54})$$

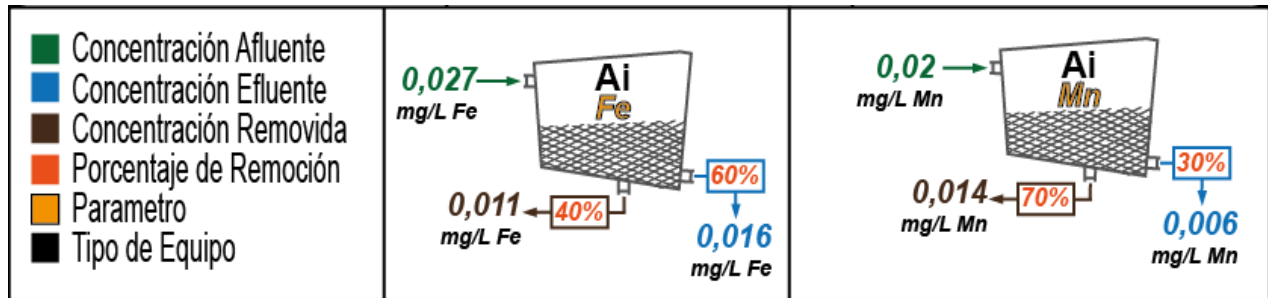


Figura E.4 Balances de Contaminantes, Aireación en Los Tablones.

Filtros Lentos de Arena

- Área de filtración máxima 100 m²
- Velocidad de filtración: 0,10 m/h - 0,20 m/h
- Altura del lecho filtrante: 1,0 m - 1,5 m

Área Total

$$A_T = \frac{CMH}{V_f} = \frac{9,06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}} = 21,57 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 55})$$

Número de Filtros

$$N = \frac{A_T}{A_M} = \frac{21,57 \text{ m}^2}{10 \text{ m}^2} = 2,16 \approx 2 \quad (\text{E. 56})$$

Área Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N} = \frac{21,57 \text{ m}^2}{2} = 10,79 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 57})$$

Caudal Individual

$$Q_i = \frac{CMH}{N} = \frac{9,06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 4,53 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{E. 58})$$

Longitud y Ancho

$$k = \frac{(2N)}{N+1} = \frac{2 \times 2}{2+1} = 1,33 \quad (\text{E. 59})$$

$$L = \sqrt{(A_i \times k)} = 3,79 \text{ m} \quad (\text{E. 60})$$

$$b = (A_i/k)^{1/2} = 2,85 \text{ m} \quad (\text{E. 61})$$

Altura del Filtro

$$H_f = H_{bl} + H_{as} + H_{lf} + H_{ls} \quad (\text{E. 62})$$

$$H_f = 0,20 \text{ m} + 1,30 \text{ m} + 1,0 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$$

Diámetro Efectivo= 0,15 mm

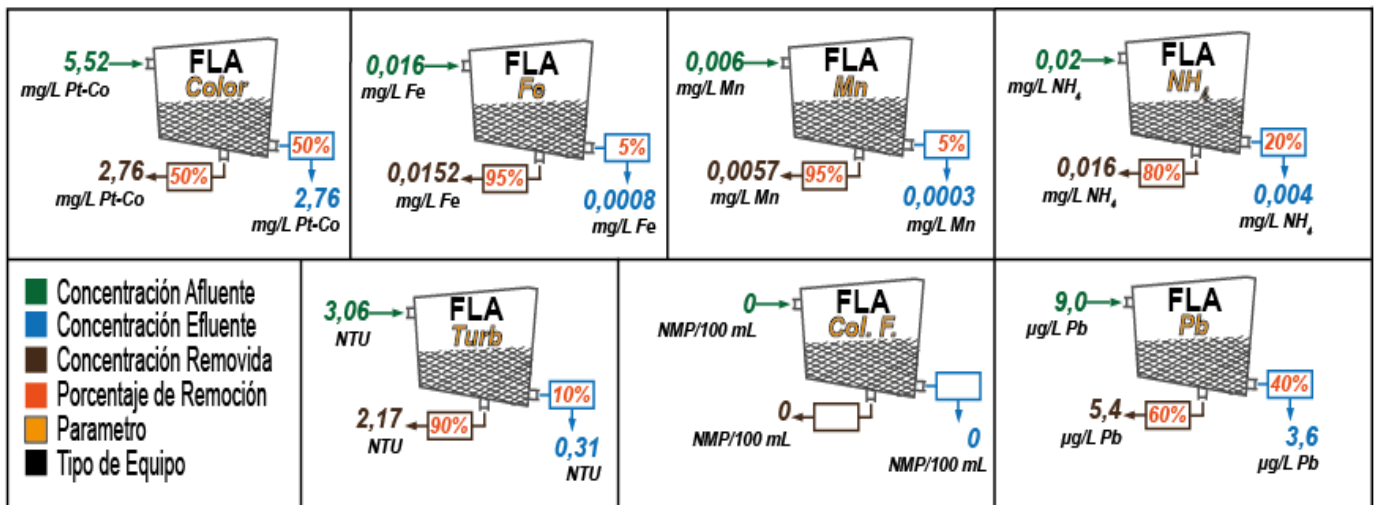


Figura E.5 Balances de Contaminantes, Filtración Lenta de Arena en Los Tableros

Incremento de Oxígeno en el Aireador

$$C_{oxy} = C_s - ((C_s - C_{oxyi})e^{K_L \alpha \cdot t}) \quad (\text{E. 63})$$

Dónde:

C_s = Concentración de saturación del oxígeno a 29°C, 7,58 mg/L (Lin, 2007)

C_{oxy} = Concentración del oxígeno después de cada bandeja

K_{La} = Coeficiente de transferencia de masa a 29°C

t = tiempo de contacto

Primera Bandeja

$$C_{oxy1} = \frac{7,58 \text{ mg}}{L} - \left(\left(\frac{7,58 \text{ mg}}{L} - \frac{3,3 \text{ mg}}{L} \right) * e^{(-1,29h^{-1} * 0,66h)} \right) = 5,75 \text{ mg/L}$$

Segunda Bandeja

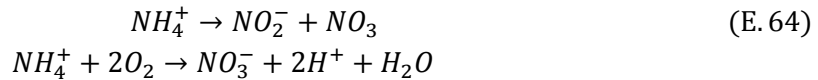
$$C_{oxy2} = \frac{7,58 \text{ mg}}{L} - \left(\left(\frac{7,58 \text{ mg}}{L} - \frac{5,75 \text{ mg}}{L} \right) * e^{(-1,29h^{-1} * 0,66h)} \right) = 6,79 \text{ mg/L}$$

Tercera Bandeja

$$C_{oxy3} = \frac{7,58 \text{ mg}}{L} - \left(\left(\frac{7,58 \text{ mg}}{L} - \frac{6,79 \text{ mg}}{L} \right) * e^{(-1,29h^{-1} * 0,66h)} \right) = 7,24 \frac{\text{mg}}{L}$$

Balances de Contaminantes

Remoción de Amonio



$$\begin{aligned} \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NH_4^+ \right) + \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{32,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} O_2 \right) \\ \rightarrow \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{62,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NO_3^- \right) + \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{1,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} H^+ \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{64,0 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{62,0 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{2,0 \text{ mg}}{L} H^+ \right) / 18,0 \\ \frac{1,0 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{3,56 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{3,45 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{0,11 \text{ mg}}{L} H^+ \end{aligned}$$

$$\frac{0,02 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{0,07 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{0,07 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{2,24 \times 10^{-3} \text{ mg}}{L} H^+$$

Producción de Nitratos

$$[NO_3^-]_{sFLA} = [NO_3^-]_o + [NO_3^-]_{prod} \quad (E. 65)$$

$$[NO_3^-]_{sFLA} = 6,80 \text{ mg/L} + 0,07 \text{ mg/L} = \frac{6,87 \text{ mg}}{L}$$

Consumo de Oxígeno

$$[O_2]_{sFLA} = [O_2]_o - [O_2]_{req} \quad (E. 66)$$

$$[O_2]_{sFLA} = 7,24 \frac{mg}{L} - 0,07 \frac{mg}{L} = 7,17 \text{ mg/L}$$

Cambio de pH



$$\frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{1,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} H^+ \right) + \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} HCO_3^- \right) \rightarrow \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} CO_2 \right)$$

$$\left(\frac{1,0 \text{ mg}}{L} H^+ \right) + \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \right) \rightarrow \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{L} CO_2 \right)$$

$$\frac{2,24 \times 10^{-3} \text{ mg}}{L} H^+ + \frac{0,14 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{0,10 \text{ mg}}{L} CO_2$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = [HCO_3^-]_o - [HCO_3^-]_{req} \quad (E. 68)$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = \frac{362,30 \text{ mg}}{L} - \frac{0,137 \text{ mg}}{L} = 362,20 \text{ mg/L}$$

$$[CO_2]_{sFLA} = [CO_2]_o + [CO_2]_{prod} \quad (E. 69)$$

$$[CO_2]_{sFLA} = \frac{2,74 \text{ mg}}{L} + \frac{0,098 \text{ mg}}{L} = 2,83 \text{ mg/L}$$

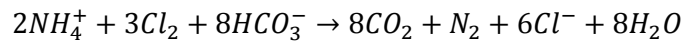
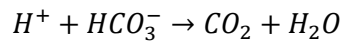
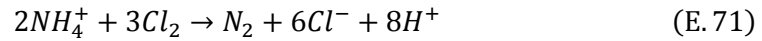
$$pH = pKa + \log \left[\frac{HCO_3^-}{CO_2} \right] \quad (E. 70)$$

$$8,4 = 6,42 + \log \left[\frac{\frac{362,20 \frac{mg}{L}}{\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} * \frac{1 \text{ 000 mmol}}{\text{mol}}}}{CO_2} \right] = 6,21 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{L}$$

$$CO_2 = \frac{6,22 \times 10^{-5} \text{ mol}}{L} * \frac{44,0 \text{ g}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ 000 mg}}{\text{g}} = 2,74 \text{ mg/L}$$

$$pH = 6,42 + \log \left[\frac{362,20 \text{ mg/L} / 61,0 \text{ mg/mmol}}{2,83 \text{ mg/L} / 44,0 \text{ mg/mmol}} \right] = 8,39$$

Desinfección con Cloro



$$\begin{aligned} & \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NH_4^+ \right) + \frac{3,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{71,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} Cl_2 \right) + \frac{8,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} HCO_3^- \right) \\ & \rightarrow \frac{8,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} CO_2 \right) + \frac{6,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{33,50 \text{ mg}}{\text{mmol}} Cl^- \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{5,91 \text{ mg}}{L} Cl_2 + \frac{13,75 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{9,78 \text{ mg}}{L} CO_2 + \frac{5,91 \text{ mg}}{L} Cl^-$$

$$\frac{0,004 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{(0,024 * 1,5) \text{ mg}}{L} Cl_2 + \frac{0,08 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{0,06 \text{ mg}}{L} CO_2 + \frac{0,04 \text{ mg}}{L} Cl^-$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = [HCO_3^-]_o - [HCO_3^-]_{req} \quad (E. 72)$$

$$\begin{aligned} [HCO_3^-]_{sFLA} &= \frac{362,20 \text{ mg}}{L} - \frac{0,29 \text{ mg}}{L} = 362,12 \text{ mg/L} \\ [CO_2]_{sFLA} &= [CO_2]_o + [CO_2]_{prod} \end{aligned} \quad (E. 73)$$

$$[CO_2]_{sFLA} = \frac{2,83 \text{ mg}}{L} + \frac{0,06 \text{ mg}}{L} = 2,89 \text{ mg/L}$$

$$[Cl_2]_{s,FL} = [Cl_2]_o + [Cl_2]_{prod} \quad (E. 74)$$

$$[Cl_2]_{sFLA} = \frac{16,20 \text{ mg}}{L} + \frac{0,035 \text{ mg}}{L} = 16,24 \text{ mg/L}$$

$$pH = 6,42 + \log \left[\frac{362,12 \text{ mg/L} / 61,0 \text{ mg/mmol}}{2,89 \text{ mg/L} / 44,0 \text{ mg/mmol}} \right] = 8,38$$

Tanque de Almacenamiento

El tanque de aguas claras debe poseer un volumen (V_{TD}) tal que pueda almacenar un 40% del caudal máximo hora (CMH) por un tiempo (t) de dos horas. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{TD} = 0,40 * CMH * t = 0,40 * 9,06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} * 7\,200 \text{ s} = 2,61 \text{ m}^3 \quad (\text{E. 75})$$

Área del Tanque

$$A_{TD} = \pi * r^2 = \pi * (0,70 \text{ m})^2 = 1,54 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 76})$$

Altura del Tanque

$$H_{TD} = \frac{V_{TD}}{A_{TD}} = \frac{2,61 \text{ m}^3}{1,54 \text{ m}^2} = 1,70 \text{ m} \quad (\text{E. 77})$$

E.3 La Playa

Población Futura

$$P_f = P_o(1 + i)^n \quad (\text{E. 78})$$

$$P_f = 1175 \text{ hab} \left(1 + \left(\frac{2,5}{100} \right) \right)^{20} = 1925,37 \text{ hab} \approx 1\,926 \text{ hab}$$

Determinación de Caudales

Caudal Promedio Diario (CPD)

$$CPD = (dp * P_f) + CI + CC + CP + OU \quad (\text{E. 79})$$

$$\begin{aligned} CPD &= \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 1\,926 \text{ hab} \right) + \left[0,07 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 1\,926 \text{ hab} \right) \right] \\ &+ \left[0,07 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 1\,926 \text{ hab} \right) \right] \\ &+ \left[0,02 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 1\,926 \text{ hab} \right) \right] \\ &+ \left[0,02 * \left(0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} - d} * 1\,926 \text{ hab} \right) \right] = 170,5 \frac{\text{m}^3}{d} * \frac{d}{86\,400 \text{ s}} \\ &= 1,97 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \end{aligned}$$

Caudal Promedio Diario Total (CPDT)

$$CPDT = (0,2 * CPD) + CPD \quad (E. 80)$$

$$CPDT = \left(0,2 * 1,97 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \right) + 1,97 \times 10^{-3} \frac{m^3}{seg} = 2,36 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Caudal Máximo Día (CMD)

$$CMD = 1,5 * CPDT \quad (E. 81)$$

$$CMD = 1,5 * 2,36 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 3,55 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Caudal Máximo Hora (CMH)

$$CMH = 2,5 * CPDT \quad (E. 82)$$

$$CMH = 2,5 * 2,36 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 5,92 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Filtro Grueso Dinámico

Caudal Real y Caudal Total

$$Q_T = (R * CMH) + CMH ; R = 1,2 - 1,5 \quad (E. 83)$$

$$Q_T = 5,92 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} + 1,3 * \left(5,92 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \right) = 0,014 \frac{m^3}{s}$$

Área Total

$$A_T = \frac{Q_T}{V_f} = \frac{0,014 \frac{m^3}{s}}{5,55 \times 10^{-4} \frac{m}{s}} = 25,23 \text{ m}^2 \quad (E. 84)$$

Número de Filtros

$$N = \frac{A_T}{A_i} = \frac{25,23 \text{ m}^2}{10 \text{ m}^2} = 2,52 \approx 3 \quad (E. 85)$$

Área de Filtración Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N} = \frac{25,23 \text{ m}^2}{3} = 8,41 \text{ m}^2 \quad (E. 86)$$

Caudal Individual (Q_i)

$$Q_i = \frac{Q_T}{N} = \frac{0,014 \frac{m^3}{s}}{3} = 4,66 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \quad (E. 87)$$

Dimensiones Relación 3:1

$$A_i = L * a; 3a = L \quad (E. 88)$$

$$A_i = 3a * a = 3a^2 \quad (E. 89)$$

$$a = \sqrt{\frac{A_i}{3}} = \sqrt{\frac{8,41 \text{ m}^2}{3}} = 1,67 \text{ m}; L = 5,0 \text{ m}$$

Altura del Filtro

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} \quad (E. 90)$$

$$H_f = 0,30 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 1,10 \text{ m}$$

Tabla E.3 Especificación del Material Filtrante, La Playa.

Tipo de Material	Altura (m)	Diámetro de Partícula (mm)
Grueso	0,20	4,0
Media	0,20	7,0
Fina	0,20	20,0
	0,60	

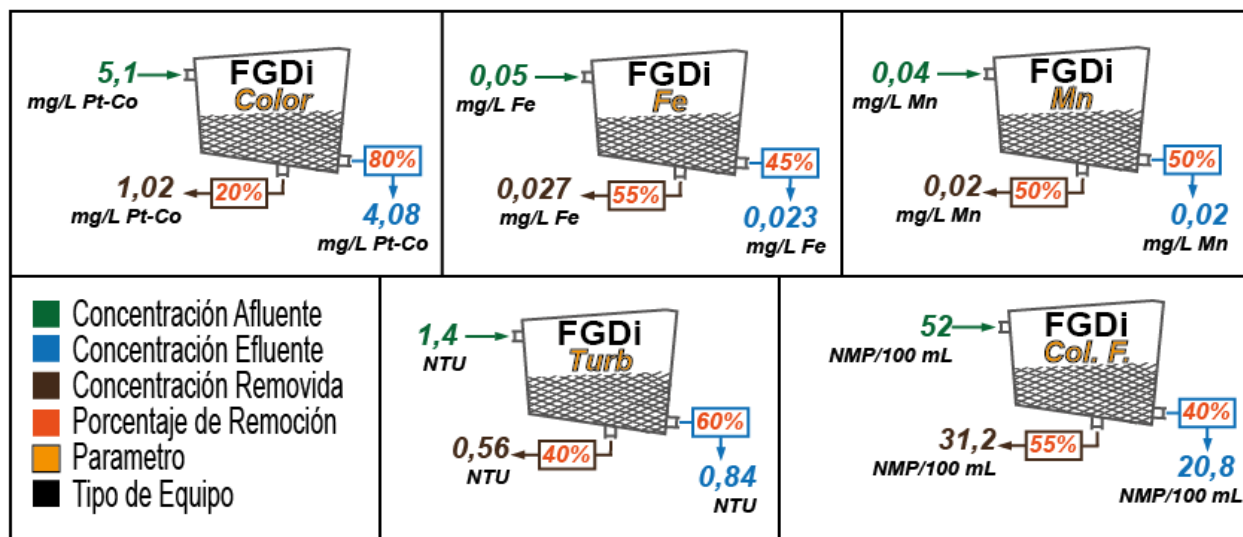


Figura E.6 Balances de Contaminantes, Filtración Gruesa Dinámica en La Playa.

Filtros Lentos de Arena

- Área de filtración máxima 100 m²
- Velocidad de filtración: 0,10 m/h - 0,20 m/h
- Altura del lecho filtrante: 1,0 m - 1,5 m

Área Total

$$A_T = \frac{CMH}{V_f} = \frac{5,92 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}} = 141,0 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 91})$$

Número de Filtros

$$N = \frac{A_T}{A_M} = \frac{141 \text{ m}^2}{70 \text{ m}^2} = 2,01 = 2 \quad (\text{E. 92})$$

Área Individual

$$A_i = \frac{A_T}{N} = \frac{141 \text{ m}^2}{2} = 70,5 \text{ m}^2 \quad (\text{E. 93})$$

Caudal Individual

$$Q_i = \frac{CMH}{N} = \frac{5,92 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 2,96 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{E. 94})$$

Longitud, y Ancho

$$k = \frac{(2N)}{N+1} = \frac{2 * 2}{2+1} = 1,33 \quad (\text{E. 95})$$

$$L = \sqrt{(A_i * k)} = 9,68 \text{ m} \quad (\text{E. 96})$$

$$b = (A_i/k)^{1/2} = 7,28 \text{ m} \quad (\text{E. 97})$$

Altura del Filtro

$$H_f = H_{bl} + H_{as} + H_{lf} + H_{ls} \quad (\text{E. 98})$$

$$H_f = 0,20 \text{ m} + 1,30 \text{ m} + 1,0 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$$

Diámetro Efectivo = 0,15 mm

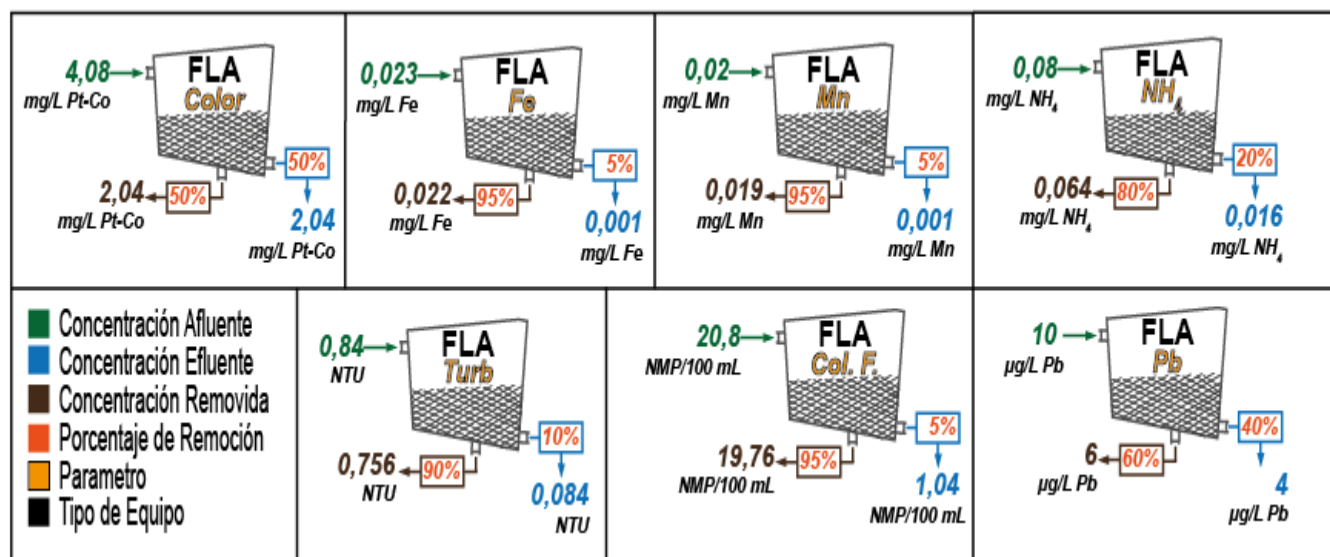


Figura E.7 Balances de Contaminantes, Filtración Lenta de Arena en La Playa.

Balance de Contaminantes

Remoción de Amonio



$$\begin{aligned} & \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NH_4^+ \right) + \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{32,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} O_2 \right) \\ & \rightarrow \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{62,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NO_3^- \right) + \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{1,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} H^+ \right) \\ & \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{64,0 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{62,0 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{2,0 \text{ mg}}{L} H^+ \right) / 18,0 \\ & \frac{1 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{3,56 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{3,45 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{0,11 \text{ mg}}{L} H^+ \\ & \frac{0,08 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{0,28 \text{ mg}}{L} O_2 \rightarrow \frac{0,28 \text{ mg}}{L} NO_3^- + \frac{8,96 \times 10^{-3} \text{ mg}}{L} H^+ \end{aligned}$$

Producción de Nitratos

$$[NO_3^-]_{s,FL} = [NO_3^-]_o + [NO_3^-]_{prod} \quad (E. 100)$$

$$[NO_3^-]_{sFLA} = 9,10 \text{ mg/L} + 0,28 \text{ mg/L} = \frac{9,38 \text{ mg}}{L}$$

Consumo de Oxígeno

$$[O_2]_{sFLA} = [O_2]_o - [O_2]_{req} \quad (E. 101)$$

$$[O_2]_{sFLA} = 7,30 \frac{mg}{L} - 0,28 \frac{mg}{L} = 7,02 \frac{mg}{L}$$

Cambio de pH



$$\frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{1,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} H^+ \right) + \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} HCO_3^- \right) \rightarrow \frac{1,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} CO_2 \right)$$

$$\left(\frac{1,0 \text{ mg}}{L} H^+ \right) + \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \right) \rightarrow \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{L} CO_2 \right)$$

$$\frac{8,96 \times 10^{-3} \text{ mg}}{L} H^+ + \frac{0,55 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{0,39 \text{ mg}}{L} CO_2$$

$$[HCO_3^-]_{s,FL} = [HCO_3^-]_o - [HCO_3^-]_{req} \quad (E. 103)$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = \frac{178,30 \text{ mg}}{L} - \frac{0,55 \text{ mg}}{L} = 177,75 \frac{\text{mg}}{L}$$

$$[CO_2]_{sFLA} = [CO_2]_o + [CO_2]_{prod} \quad (E. 104)$$

$$[CO_2]_{sFLA} = \frac{16,90 \text{ mg}}{L} + \frac{0,39 \text{ mg}}{L} = 17,29 \frac{\text{mg}}{L}$$

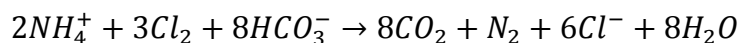
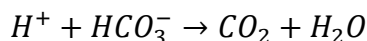
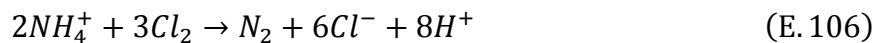
$$pH = pKa + \log \left[\frac{HCO_3^-}{CO_2} \right] \quad (E. 105)$$

$$7,3 = 6,42 + \log \left[\frac{(177,75 \text{ mg/L}) / \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} * \frac{1 \text{ 000 mmol}}{\text{mol}} \right)}{CO_2} \right] = 3,84 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$CO_2 = \frac{3,84 \times 10^{-4} \text{ mol}}{L} * \frac{44,0 \text{ g}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ 000 mg}}{\text{g}} = \frac{16,90 \text{ mg}}{L}$$

$$pH = 6,42 + \log \left[\frac{177,75 \text{ mg/L} / 61,0 \text{ mg/mmol}}{17,29 \text{ mg/L} / 44,0 \text{ mg/mmol}} \right] = 7,29$$

Desinfección con Cloro



$$\begin{aligned} \frac{2,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{18,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} NH_4^+ \right) + \frac{3,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{71,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} Cl_2 \right) + \frac{8,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{61,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} HCO_3^- \right) \\ \rightarrow \frac{8,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{44,0 \text{ mg}}{\text{mmol}} CO_2 \right) + \frac{6,0 \text{ mmol}}{L} * \left(\frac{33,5 \text{ mg}}{\text{mmol}} Cl^- \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1,0 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{5,91 \text{ mg}}{L} Cl_2 + \frac{13,75 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{9,78 \text{ mg}}{L} CO_2 + \frac{5,916 \text{ mg}}{L} Cl^-$$

$$\frac{0,02 \text{ mg}}{L} NH_4^+ + \frac{(0,10 * 1,5) \text{ mg}}{L} Cl_2 + \frac{0,33 \text{ mg}}{L} HCO_3^- \rightarrow \frac{0,23 \text{ mg}}{L} CO_2 + \frac{0,14 \text{ mg}}{L} Cl^-$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = [HCO_3^-]_o - [HCO_3^-]_{req} \quad (E. 107)$$

$$[HCO_3^-]_{sFLA} = \frac{177,75 \text{ mg}}{L} - \frac{0,33 \text{ mg}}{L} = 177,42 \text{ mg/L}$$

$$[CO_2]_{sFLA} = [CO_2]_o + [CO_2]_{prod} \quad (E. 108)$$

$$[CO_2]_{sFLA} = \frac{17,29 \text{ mg}}{L} + \frac{0,23 \text{ mg}}{L} = 17,52 \text{ mg/L}$$

$$[Cl_2]_{s,FL} = [Cl_2]_o + [Cl_2]_{prod} \quad (E. 109)$$

$$[Cl_2]_{sFLA} = \frac{28,30 \text{ mg}}{L} + \frac{0,14 \text{ mg}}{L} = 28,44 \text{ mg/L}$$

$$pH = 6.42 + \log \left[\frac{177,42 \text{ mg/L} / 61,0 \text{ mg/mmol}}{17,52 \text{ mg/L} / 44,0 \text{ mg/mmol}} \right] = 7,29$$

Tanque de Almacenamiento

El tanque de aguas claras debe poseer un volumen (V_{TD}) tal que pueda almacenar un 40% del caudal máximo hora (CMH) por un tiempo (t) de dos horas. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{TD} = 0,40 * CMH * t = 0,40 * 5,92 \times 10^{-3} m^3/s * 7\,200 s = 17,05 m^3 \quad (E.109)$$

Área del Tanque

$$A_{TD} = \pi * r^2 = \pi * (1,50 m)^2 = 7,10 m^2 \quad (E.110)$$

Altura del Tanque

$$H_{TD} = \frac{V_{TD}}{A_{TD}} = \frac{17,05 m^3}{7,10 m^2} = 2,40 m \quad (E.111)$$

Anexo F

PORCENTAJES DE REMOCIÓN

Tabla F.1 Porcentajes de Remoción de Filtración Gruesas Dinámica.

Parámetro de Calidad del Agua	Rendimiento o Capacidad de Remoción	Comentarios	Referencias Citadas por García, 2013
Sólidos Suspendidos	70% a 80%	Con fuentes en el rango de 10 mg/L a 200 mg/L	(Galvis, 1999)
Turbiedad	30% a 50%	La eficiencia de remoción puede afectarse por la naturaleza y distribución del tamaño de las partículas. En fuentes de ladera el porcentaje de remoción es del 50%	(Galvis, 1999)
Color Verdadero	10% a 25%	Para fuentes en el rango de 15 UPC y 20 UPC	(Galvis, 1999)
Hierro y Manganeseo	40% a 70%	La remoción de manganeso es del orden del 40% al 60%	(Galvis, 1999)
Coliformes Fecales	50% a 90%	Cuando los niveles de sólidos suspendidos están en el rango de 10 mg/L y 50 mg/L y niveles de coliformes fecales en el rango de 2 000 UFC/100mL a 100 000 UFC/100mL	(Galvis, 1999)

Tabla F.2 Porcentajes de Remoción de Filtración Gruesa Ascendente.

Parámetro de Calidad del Agua	Rendimiento o Capacidad de Remoción	Comentarios	Referencias Citadas por García, 2013
Sólidos Suspendidos	90% a 95%	90% valor comúnmente reportado en fuentes superficiales con altos contenidos de material suspendido	(Galvis, 1999)
Turbiedad	50% a 80%	Se reportan porcentajes de remoción que pueden alcanzar hasta el 90% en fuentes superficiales de ladera	(Galvis, 1999)
Color Verdadero	20% a 50%		(Galvis, 1999)
Hierro y Manganeseo	50%		(Galvis, 1999)
Coliformes Fecales	18% a 40%	Siendo las mayores para FGAS tratando agua con contaminación bacteriológica en el rango de 20 000 UFC/100 mL a 100 000 UFC/100 mL y contenido de sólidos suspendidos entre 20 mg/L y 200 mg/L, las menores eficiencias se presentan con fuentes con calidad bacteriológica entre 500 UFC/100 mL y 20 000 UFC/100 mL	(Galvis, 1999)

Tabla F.3 Porcentajes de Remoción de Aireación de Bandejas Múltiples.

Parámetro de Calidad del Agua	Rendimiento o capacidad de remoción	Comentarios	Referencias
Oxígeno Disuelto	30%	30% por cada etapa o paso	(Lawrence, Yung-Tse, & Nazih K., 2006)
Hierro y Manganeseo	30% a 50%	En combinación con sistemas de filtración se pueden alcanzar remociones del 50% para hierro y 80% para manganeso	(Burbano & Sanchez, 2005)
Dióxido de Carbono	40% a 80%	A mayor número de etapas, mayor eficiencia de remoción.	(Lawrence, Yung-Tse, & Nazih K., 2006)
Compuestos Volátiles	30% a 90%	Tricloroetileno y tetraclorietileno	(Lawrence, Yung-Tse, & Nazih K., 2006)

Tabla F.4 Porcentajes de Remoción de Filtración Lenta de Arena.

Parámetro de Calidad del Agua	Rendimiento o Capacidad de Remoción	Comentarios	Referencias Citadas por Galvis, 1999
Bacterias Entéricas	90% a 99,9%	Reducida por bajas temperaturas; elevadas tasas hidráulicas, lechos gruesos y poco profundos y bajos niveles de contaminación	Cleasby et al, 1987; Schellart, 1988; Smet & Visscher, 1989
Virus Entéricos	99% a 99,9%	A 20°C: 5 log a 0,2 m/h y 3 log a 0,4 m/h; A 6°C: 3 logs a 0,2 m/h y 1 log a 0,4m/h	Poynter & Slade 1977; Wheeler et al, 1988
Giardia cysts	99% a 99,9%	Eficiencia de remoción elevadas	Bellamy et al, 1985; Logsdon, 1987
Cryptosporidium	> 99,9%	Cryptosporidium Oocytes, estudio a escala piloto	Timms et al, 1995
Cercaria	100%	Virtualmente remoción completa	Ellis, 1985
Turbiedad	< 1 NTU	El nivel de turbiedad y la naturaleza y distribución de las partículas afecta la capacidad de tratamiento.	Slezak & Sims, 1987; Smet & Visscher, 1989
Plaguicidas	0% a 100%	Afectados por la tasa de biodegradación	Lambert & Graham, 1995
COD	5% a 40 %	Media alrededor de 16%	Lambert & Graham, 1995
Absorbancia-UV (254nm)	5% a 35%	Media alrededor del 16% a 18%	Lambert & Graham, 1995
Color Verdadero	25% a 40%	Color es asociado con la materia orgánica y ácidos húmicos, siendo 30% el promedio	Ellis, 1985; Smet & Visscher, 1989
Absorbancia-UV (400nm)	15% a 80%	Media 34% y diferencia significativa con respecto a la altitud, altiplanicie 42% y baja 26%	Lambert & Graham, 1995
COT; DQO	< 15% a 25%	Carbón orgánico total y demanda química de oxígeno	Haarhoff & Cleasby, 1991
COA	14% a 40%	Carbón orgánico asimilable, media 26%	Lambert & Graham, 1995
CODB	46% a 75%	Carbón orgánico disuelto biodegradable, media 60%	Lambert & Graham, 1995
Hierro y Manganeseo	30% a 90%	Niveles de Fe > 1 mg/L reducen la corrida del filtro	Ellis, 1985; Di Benardo, 1993

Anexo G

CALIDAD DE AGUA FINAL EN LAS COMUNIDADES

Tabla G.1 Calidad del Agua en Comunidad Aguas Calientes después del Tratamiento.							NTON 05 007-98	
Comunidad	Parámetro	Comunidad Aguas Caliente	Sistema de Tratamiento			CAPRE/ ²⁸ OMS/ ²⁹ CEE	Aguas Tipo 1 A – B	Aguas Tipo 2 A – B
			Filtro Dinámico	Filtro Lento de Arena	Cloración			
Físicos	Temperatura(°C)	29,5	-	-	29,5	18,0-30,0	-	-
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,9	-	5,7	5,7	8,0	> 4,0	> 5,0
	Conductividad (µS/cm)	276,9	-	-	276,9	400,0	-	-
	Sólidos Totales Disueltos (µS/cm)	136,4	-	-	136,4	1 000	1 000 (A), 1 500 (B)	3 000
	Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	11,3	9,4	4,5	4,5	1,0	< 15,0 (A), < 150,0 (B)	-
	Turbiedad (NTU)	4,6	2,8	0,3	0,3	1,0	< 5,0 (A), < 250,0 (B)	-
Químicas	pH	6,94	-	6,14	6,13	6,5-8,5	6,0 - 8,5	-
	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	84,5	-	-	84,5	400,0	400,0	-
	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	101,3	-	-	101,3	-	-	-
	Calcio (mg/L Ca ²⁺)	24,0	-	-	24,0	100,0	-	-
	Magnesio (mg/L Mg ²⁺)	5,9	-	-	5,9	30,0	-	0,5
	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	4,2	-	-	4,2	25,0	250,0 (A), 400,0 (B)	-
	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	27,2	27,2	27,2	27,2	25,0	250,0 (A), 600,0 (B)	-
	Fluoruros (mg/L F ⁻)	0,32	-	-	0,2	0,7-1,5	0,7-1,5 (A), < 1,7 (B)	-
Metales	Aluminio (mg/L Al ³⁺)	0,016	-	-	0,016	0,2	-	1,0
	Hierro (mg/L Fe ³⁺)	0,05	0,023	0,001	0,001	0,3	0,3 (A), 3,0 (B)	1,0
	Arsénico (µg/L As ⁵⁺)	2,1	-	-	2,1	10,0	-	5,0
	Plomo (µg/L Pb)	9,0	9,0	3,6	3,6	10,0	10,0 (A), 50,0 (B)	> 50,0
Nutrientes	Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	2,9	-	3,14	3,1	25,0	NO ₂ + NO ₃ = 10,0	-
	Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,04	-	-	0,04	0,1		-
	Amonio(mg/L NH ₄ ⁺)	0,07	0,07	0,014	0,014	0,05	-	-
	Fósforo (mg/L P)	0,063	-	-	0,06	-	-	-
Microbiológicos	CF(NMP/100 mL)	78	31,2	1,6	0	Negativo	< 2 000 (A), < 10 000 (B)	-
		7	6	4	2			

Tabla G.2 Calidad del Agua en Comunidad Los Tablones después del Tratamiento.								NTON 05 007-98	
Comunidad	Parámetro	Comunidad Los Tablones	Sistema de Tratamiento				CAPRE/ ²⁸ OMS / ²⁹ CEE	Aguas Tipo 1 A – B	Aguas Tipo 2 A – B
			Filtro Dinámico	Aireación	Filtro Lento de Arena	Cloración			
Físicos	Temperatura(°C)	28,5	-	-	-	29,5	18,0-30,0	-	-
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	3,3	3,3	7,24	7,17	7,2	8,0	> 4,0	> 5,0
	Conductividad (µS/cm)	488,7	488,7	488,7	488,7	488,7	400,0	-	-
	Sólidos Totales Disueltos (µS/cm)	240,5	-	-	-	240,5	1 000	1 000 (A), 1 500 (B)	3 000
	Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	6,9	5,5	5,55	2,76	2,8	1,0	< 15,0 (A), < 150,0 (B)	-
	Turbiedad (NTU)	5,1	3,06	3,06	0,31	0,31	1,0	< 5,0 (A), < 250,0 (B)	-
Químicas	pH	8,4	-	-	8,39	8,4	6,5-8,5	6,0 - 8,5	-
	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	260,0	-	-	-	260,0	400,0	400,0	-
	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	298,8	-	-	-	298,8	-	-	-
	Calcio (mg/L Ca ²⁺)	33,7	-	-	-	33,7	100,0	-	-
	Magnesio (mg/L Mg ²⁺)	42,7	42,7	42,7	42,7	42,7	30,0	-	0,5
	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	2,0	-	-	-	2,0	25,0	250,0 (A), 400,0 (B)	-
	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	16,2	-	-	16,24	16,2	25,0	250,0 (A), 600,0 (B)	-
	Fluoruros (mg/L F ⁻)	0,45	-	-	-	0,45	0,7-1,5	0,7-1,5 (A), < 1,7 (B)	-
Metales	Aluminio (mg/L Al ³⁺)	0,007	-	-	-	0,007	0,2	-	1,0
	Hierro (mg/L Fe ³⁺)	0,06	0,027	0,016	0,008	0,008	0,3	0,3 (A), 3,0 (B)	1,0
	Arsénico (µg/L As ⁵⁺)	3,44	-	-	-	3,4	10,0	-	5,0
	Plomo (µg/L Pb)	9,0	9,0	9,0	3,6	3,6	10,0	10,0 (A), 50,0 (B)	> 50,0
Nutrientes	Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	6,8	-	-	6,87	6,9	25,0	NO ₂ + NO ₃ = 10,0	-
	Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,02	-	-	-	0,02	0,1		-
	Amonio(mg/L NH ₄ ⁺)	0,02	-	-	0,004	0,004	0,05	-	-
	Fósforo (mg/L P)	0,03	-	-	-	0,03	-	-	-
Microbiológicos	CF (NMP/100 mL)	0	0	0	0	0	Negativo	< 2 000 (A), < 10 000 (B)	-
		7	6	5	3	3			

Tabla G.3 Calidad del Agua en Comunidad La Playa después del Tratamiento.							NTON 05 007-98	
Comunidad	Parámetro	Comunidad La Playa	Sistema de Tratamiento			CAPRE/ ²⁸ OMS / ²⁹ CEE	Aguas Tipo 1 A – B	Aguas Tipo 2 A – B
			Filtro Dinámico	Filtro Lento de Arena	Cloración			
Físicos	Temperatura(°C)	27,0	-	-	27,0	18,0-30,0	-	-
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,3	-	7,02	7,02	8,0	> 4,0	> 5,0
	Conductividad (µS/cm)	241,2	-	-	241,2	400,0	-	-
	Sólidos Totales Disueltos (µS/cm)	118,0	-	-	118,0	1 000	1 000 (A), 1 500 (B)	3 000
	Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	5,1	4,1	2,04	2,08	1,0	< 15,0 (A), < 150,0 (B)	-
	Turbiedad (NTU)	1,4	0,8	0,084	0,08	1,0	< 5,0 (A), < 250,0 (B)	-
Químicas	pH	7,3	-	7,29	7,3	6,5-8,5	6,0 - 8,5	-
	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	111,9	-	-	111,9	400,0	400,0	-
	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	146,2	-	-	146,2	-	-	-
	Calcio (mg/L Ca ²⁺)	20,8	-	-	20,8	100,0	-	-
	Magnesio (mg/L Mg ²⁺)	14,5	-	-	14,5	30,0	-	0,5
	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	2,0	-	-	2	25,0	250,0 (A), 400,0 (B)	-
	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	28,3	28,3	28,3	28,4	25,0	250,0 (A), 600,0 (B)	-
	Fluoruros (mg/L F ⁻)	0,52	-	-	0,5	0,7-1,5	0,7-1,5 (A), < 1,7 (B)	-
Metales	Aluminio (mg/L Al ³⁺)	0,008	-	-	0,008	0,2	-	1,0
	Hierro (mg/L Fe ³⁺)	0,05	0,02	0,001	0,001	0,3	0,3 (A), 3,0 (B)	1,0
	Arsénico (µg/L As ⁵⁺)	1,4	-	-	1,4	10,0	-	5,0
	Plomo (µg/L Pb)	10,0	10,0	4,0	4,0	10,0	10,0 (A), 50,0 (B)	> 50,0
Nutrientes	Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	9,1	-	9,38	9,1	25,0	NO ₂ + NO ₃ = 10,0	-
	Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,03	-	-	0,03	0,1		-
	Amonio(mg/L NH ₄ ⁺)	0,08	0,08	0,016	0,02	0,05	-	-
	Fósforo (mg/L P)	0,15	-	-	0,15	-	-	-
Microbiológicos	CF (NMP/100 mL)	52	20,8	1,04	0	Negativo	< 2 000 (A), < 10 000 (B)	-
		7	5	3	2			

Anexo H

Análisis de Vulnerabilidad

Tabla H.1 Matriz para el Análisis de Vulnerabilidad Económica, Aguas Caliente.

Nombre de la Comunidad: Aguas Caliente			Municipio: San Lucas			
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Nivel de pobreza (vive con menos de 1 USD/d)	0= Menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3= Más del 51%	X			
2	PEA local (ocupada/desocupada/subempleada), hombre y mujeres	0= menos del 10% desempleado 1= Entre 11% a 30% desempleado 2= Entre 31% a 50% desempleado 3= Más del 51% desempleado		X		
3	Población dependiente (menores de 16 años y mayores de 64 años)	0= menos del 20% es dependiente 1= Entre el 21% al 40% es dependiente 2= Entre el 41% al 60% es dependiente 3= Más del 61 % es dependiente	X			
4	Trabajo infantil (menores de 16 años que trabajan con o sin ingreso)	0= menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% de la población 2= Entre 41% a 50% de la población 3= Más del 51% de la población				X
5	Nivel de analfabetismo	0= menos del 10% de la población 1= Entre el 11% al 30% es analfabeto 2= Entre el 31% al 49% es analfabeto 3= Más del 50% es analfabeto			X	
6	Escolaridad (promedio 5 años de estudio)	0= Mas del 80% con 5 años 1= 61% al 79% con 5 años 2= 41% al 60% con 5 años 3= menos del 40%				X
7	Propiedad de la vivienda (alquilada, propia, prestada)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia				X
8	Propiedad de parcelas (alquilada, prestada, propia)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia				X
9	Existencia de fuentes de empleos locales	0= Mas del 80% de la demanda cubierta 1= Entre el 61% al 79% de la demanda 2= Entre el 41% al 60% de la demanda 3= Menos del 40%	X			
		Sumatoria:	9	2	1	0
Total del Factor Económico:			1,33			

Fuente: INAA & COSUDE, 2011.

Tabla H.2 Matriz para el Análisis de Vulnerabilidad Social-ambiental, Aguas Caliente.

Nombre de la Comunidad: Aguas Caliente			Municipio: San Lucas			
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Prácticas de quema en la cuenca en donde se ubica la fuente de captación	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
2	Población que conoce sobre las amenazas en su comunidad y sistema de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%	X			
3	Hogares con practica de deposición de basura cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
4	Empresas con prácticas de deposición de desechos sólidos o líquidos cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
5	Población con prácticas de fecalismo	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
6	Porcentaje de hogares que pagan regularmente su tarifa de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%	X			
7	Distancia de letrinas y pozos de consumo en menos de 20 m	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
8	Presencia de enfermedades endémicas asociadas al agua (malaria, dengue, parásitos y diarrea).	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
9	Control familiar de la calidad de agua por algún método de desinfección: cloro, hervir, filtros.	0= Mas del 80%a 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% d 3= Menos del 40%	X			
10	Manejo de aguas grises	0= Mas del 80%a 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% d 3= Menos del 40%	X			
Sumatoria:			15	4	3	0
Total del Factor Social-ambiental:			2,20			

Fuente: INAA & COSUDE, 2011.

Tabla H.3 Matriz para el Análisis de Vulnerabilidad Económica, Los Tablones.

Nombre de la Comunidad: Los Tablones			Municipio: San Lucas			
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Nivel de pobreza (vive con menos de 1 USD/d)	0= Menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3= Más del 51%	X			
2	PEA local (ocupada/desocupada/subempleada), hombre y mujeres	0= menos del 10% desempleado 1= Entre 11% a 30% desempleado 2= Entre 31% a 50% desempleado 3= Más del 51% desempleado		X		
3	Población dependiente (menores de 16 años y mayores de 64 años)	0= menos del 20% es dependiente 1= Entre el 21% al 40% es dependiente 2= Entre el 41% al 60% es dependiente 3= Más del 61 % es dependiente	X			
4	Trabajo infantil (menores de 16 años que trabajan con o sin ingreso)	0= menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% de la población 2= Entre 41% a 50% de la población 3= Más del 51% de la población				X
5	Nivel de analfabetismo	0= menos del 10% de la población 1= Entre el 11% al 30% es analfabeto 2= Entre el 31% al 49% es analfabeto 3= Más del 50% es analfabeto			X	
6	Escolaridad (promedio 5 años de estudio)	0= Mas del 80% con 5 años 1= 61% al 79% con 5 años 2= 41% al 60% con 5 años 3= menos del 40%			X	
7	Propiedad de la vivienda (alquilada, propia, prestada)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia				X
8	Propiedad de parcelas (alquilada, prestada, propia)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia				X
9	Existencia de fuentes de empleos locales	0= Mas del 80% de la demanda cubierta 1= Entre el 61% al 79% de la demanda 2= Entre el 41% al 60% de la demanda 3= Menos del 40%	X			
		Sumatoria:	9	2	2	0
Total del Factor Económico:			1,44			

Fuente: INAA & COSUDE, 2011.

Tabla H.4 Matriz para el Análisis de Vulnerabilidad Social-ambiental, Los Tablones.

Nombre de la Comunidad: Los Tablones			Municipio: San Lucas			
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Prácticas de quema en la cuenca en donde se ubica la fuente de captación	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
2	Población que conoce sobre las amenazas en su comunidad y sistema de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%	X			
3	Hogares con practica de deposición de basura cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
4	Empresas con prácticas de deposición de desechos sólidos o líquidos cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
5	Población con prácticas de fecalismo	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
6	Porcentaje de hogares que pagan regularmente su tarifa de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%	X			
7	Distancia de letrinas y pozos de consumo en menos de 20 m	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
8	Presencia de enfermedades endémicas asociadas al agua (malaria, dengue, parásitos y diarrea)	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
9	Control familiar de la calidad de agua por algún método de desinfección: cloro, hervir, filtros	0= Mas del 80%a 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% d 3= Menos del 40%	X			
10	Manejo de aguas grises	0= Mas del 80%a 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% d 3= Menos del 40%	X			
Sumatoria:			18	2	3	0
Total del Factor social-ambiental:			2,30			

Fuente: INAA & COSUDE, 2011.

Tabla H.5 Matriz para el Análisis de Vulnerabilidad Económica, La Playa.

Nombre de la Comunidad: La Playa			Municipio: San Lucas			
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Nivel de pobreza (vive con menos de 1 USD/d)	0= Menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
2	PEA local (ocupada/desocupada/subempleada), hombre y mujeres	0= menos del 10% desempleado 1= Entre 11% a 30% desempleado 2= Entre 31% a 50% desempleado 3= Más del 51% desempleado		X		
3	Población dependiente (menores de 16 años y mayores de 64 años)	0= menos del 20% es dependiente 1= Entre el 21% al 40% es dependiente 2= Entre el 41% al 60% es dependiente 3= Más del 61 % es dependiente	X			
4	Trabajo infantil (menores de 16 años que trabajan con o sin ingreso)	0= menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% de la población 2= Entre 41% a 50% de la población 3= Más del 51% de la población				X
5	Nivel de analfabetismo	0= menos del 10% de la población 1=Entre el 11% al 30% es analfabeto 2= Entre el 31% al 49% es analfabeto 3=Más del 50% es analfabeto			X	
6	Escolaridad (promedio 5 años de estudio)	0= Mas del 80% con 5 años 1=61% al 79% con 5 años 2= 41% al 60% con 5 años 3= menos del 40%			X	
7	Propiedad de la vivienda (alquilada, propia, prestada)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia				X
8	Propiedad de parcelas (alquilada, prestada, propia)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia				X
9	Existencia de fuentes de empleos locales	0= Mas del 80% de la demanda cubierta 1= Entre el 61% al 79% de la demanda 2= Entre el 41% al 60% de la demanda 3= Menos del 40%	X			
		Sumatoria:	9	2	2	0
Total del Factor Económico:			1,44			

Fuente: INAA & COSUDE, 2011.

Tabla H.6 Matriz para el Análisis de Vulnerabilidad Social-ambiental, La Playa.

Nombre de la Comunidad: La Playa			Municipio: San Lucas			
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Prácticas de quema en la cuenca en donde se ubica la fuente de captación	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
2	Población que conoce sobre las amenazas en su comunidad y sistema de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%		X		
3	hogares con practica de deposición de basura cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
4	Empresas con prácticas de deposición de desechos sólidos o líquidos cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
5	Población con prácticas de fecalismo	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
6	Porcentaje de hogares que pagan regularmente su tarifa de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%	X			
7	Distancia de letrinas y pozos de consumo en menos de 20 m	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
8	Presencia de enfermedades endémicas asociadas al agua (malaria, dengue, parásitos y diarrea)	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
9	Control familiar de la calidad de agua por algún método de desinfección: cloro, hervir, filtros	0= Mas del 80%a 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% d 3= Menos del 40%	X			
10	Manejo de aguas grises	0= Mas del 80%a 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% d 3= Menos del 40%	X			
Sumatoria:			12	8	2	0
Total del Factor Social-ambiental:			2,20			

Fuente: INAA & COSUDE, 2011.

